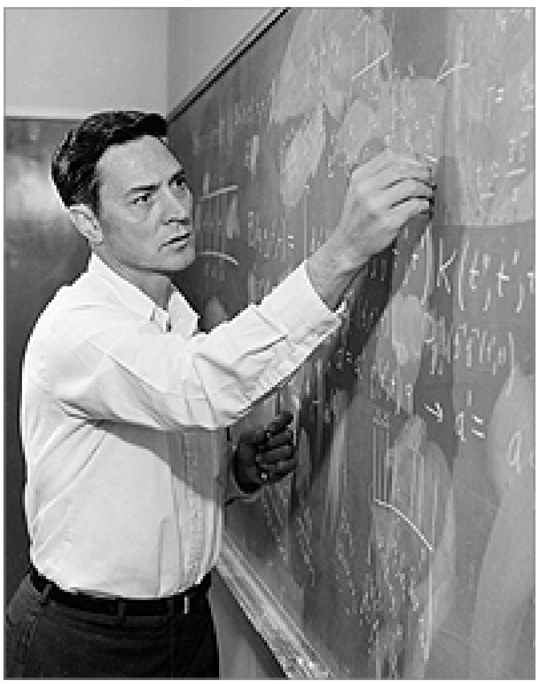
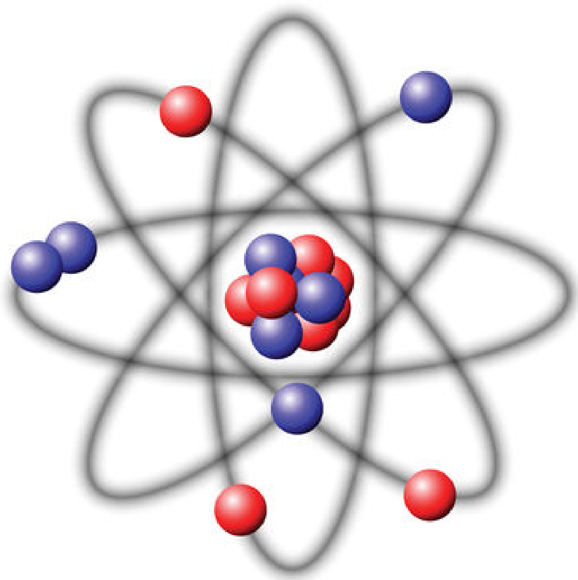
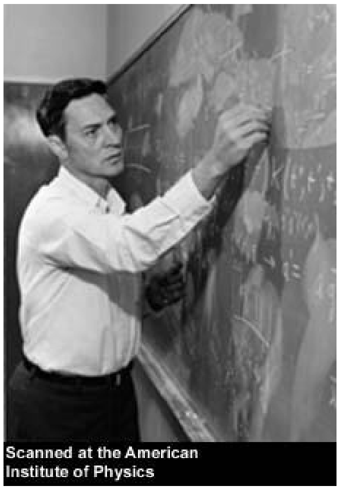
Geoffrey Chew: Apogeo y decadencia de la democracia nuclear

Juan Carlos Ruiz Franco
(Web: www.jcruizfranco.es
email: jcrfranco@gmail.com)





Estudio sobre historia de la física en el siglo XX, el desarrollo de la teoría atómica y la propuesta de la democracia nuclear por parte del físico estadounidense Geoffrey Chew



Geoffrey Chew



Geoffrey Chew y Rudolf Peiers



Geoffrey Chew



Geoffrey Chew y Steven Weinberg



Índice

1. Introducción

La Física del siglo XX supuso, sin duda, un gran cambio en comparación con los desarrollos teóricos anteriores. Se trata de un tema ampliamente expuesto en numerosas publicaciones, pero debemos hacer referencia a él porque nos servirá de introducción para enmarcar este trabajo. En este siglo, esta ciencia pasó de parecer una disciplina conclusa y perfecta sobre la que quedaba poco por decir a abrírsele todo un nuevo mundo ante sus ojos. Hasta finales del siglo XIX, en ella dominaba un paradigma mecanicista y determinista, procedente de la síntesis entre la física newtoniana y el mecanicismo cartesiano de la *res extensa*. El espacio y el tiempo absolutos, la creencia en la validez del principio de causalidad y la absoluta seguridad de que, si alguien conociera todas las fuerzas y las posiciones de los seres naturales y pudiera analizar todos los datos derivados de ellos, conocería todo el pasado, el presente y el futuro del universo (el determinismo clásico, tal como lo formuló Laplace) eran sus pilares principales. Es cierto que había discusiones sobre si la naturaleza de la luz era corpuscular (tesis defendida por Newton) u ondulatoria (la tesis de Huygens, Young, Maxwell y Hertz), y que esta última había triunfado desde mediados del siglo XIX, pero que los rayos de luz no consistieran en los haces de partículas que en su día defendió Newton no se consideraba un problema importante para el sistema en su globalidad. Además, Maxwell había enunciado sus ecuaciones del electromagnetismo —que parecían unificar todos los fenómenos de este ámbito—, había respaldado la hipótesis del éter como medio para explicar la propagación de las ondas de luz, y el ambiente de optimismo y confianza en el cientifismo positivista hacía que se considerara a la Física como una ciencia prácticamente completa.

Sin embargo, el éter seguía siendo sólo una hipótesis, y había investigadores que deseaban otorgarle un carácter más sólido y material. Después del intento de demostración de la existencia del éter por parte de Fizeau en 1851, en 1887 Albert Michelson y Edward Morley realizaron el primero de una larga serie de experimentos para medir la velocidad de la Tierra respecto al éter, y con ello demostrar la existencia de éste. Contra todo pronóstico, el resultado fue que no parecía que hubiese tal "viento de éter". Como era lógico, el experimento se repitió, pero el resultado fue el mismo. Como también era lógico esperar, enseguida surgieron las hipótesis *ad hoc* para salvar las apariencias, pero fue evidente su artificialidad y falta de coherencia. Por tanto, en contra de lo que se esperaba, lo que se consiguió fue que se pusiera en duda la misma existencia del éter y que Lorentz y FitzGerald enunciaran sus ecuaciones de transformación, que a su vez fueron la base de la teoría de la relatividad especial, obra de Einstein. Todo este embrollo comenzó a poner en duda la validez del paradigma mecanicista en lo que podríamos llamar "ámbito de de lo grande", en el que Einstein pondría fin al espacio y el tiempo absolutos de la mecánica clásica.

En el "ámbito de lo pequeño", a finales del XIX y comienzos del XX fue creciendo el cúmulo de conocimientos sobre los rayos X, la radioactividad y la estructura del átomo, que se encarnó en los modelos de Thomson y de Rutherford, entre otros avances. Tuvo que ser Planck, un físico con clara tendencia de la vieja escuela, quien, en su investigación sobre el cuerpo negro de Kirchhoff, descubriera que la radiación se emitía o absorbía no de forma continua —como se pensaba hasta entonces—, sino en cantidades discretas, los cuantos de energía que él expresó en su fórmula $E = hv$, donde la energía equivale a la frecuencia (v), multiplicada por h, que simboliza la famosa "constante de Planck". La energía no se transmitía, por tanto, de manera continua. Había nacido la que después se conocería como

“antigua teoría cuántica”. Después de que Einstein se diera cuenta —en su artículo de 1905 sobre el efecto fotoeléctrico— de la importancia de lo que Planck había descubierto —no sólo involuntariamente, sino casi contra su voluntad—, y después de que Niels Bohr mejorara en 1913 el modelo atómico de Rutherford, y en 1925 Schrödinger y Heisenberg desarrollaran sus mecánicas ondulatoria y matricial, nació la mecánica cuántica, que supuso un varapalo al paradigma mecanicista en el “ámbito de lo pequeño”, ya que con su dualidad onda-partícula y su principio de incertidumbre/indeterminación permitió poner en duda el principio de causalidad y el determinismo laplaciano que habían estado vigentes en Física durante mucho tiempo.

Además de estas transformaciones “internas” —que a su vez pueden tener causas externas—, otro cambio importante fue la posición de la Física en la sociedad, en especial la de la física teórica. Ésta, hasta finales del siglo XIX, no era un campo bien considerado socialmente, y en cambio sí lo eran la química y la física experimental. Por ejemplo, se dice que cuando, Planck aceptó la cátedra de física teórica de la Universidad de Berlín, en 1889, muchos físicos pensaban que este campo en realidad era más bien superfluo; en cambio, la física experimental gozaba de gran prestigio. Esto precisamente tenía relación con lo que antes hemos comentado sobre la aparente imposibilidad de perfeccionar o completar lo ya enunciado por esta disciplina. Así aconsejaba von Jolly al joven Planck en 1874: “La física teórica es una materia muy elegante, pero es poco probable que usted pueda llegar a añadirle nada nuevo de importancia fundamental” (Max Planck Society).

En el período de entreguerras esta situación comenzó a variar, y con la Segunda Guerra Mundial llegó la gran explosión (un término bastante adecuado) de la física teórica. Si la Primera Guerra Mundial fue la guerra de los químicos —como bien dicen Sánchez Ron y Kevles—, la Segunda fue la de los físicos. La entrada en escena de la energía nuclear

supuso un cambio radical en la posición de la física teórica en la sociedad, lo cual implicó, inevitablemente, su politización. El caso de Los Álamos —con la colosal reunión de científicos, militares y políticos, en medio de un desierto norteamericano, con el objetivo de construir la bomba atómica, y todas las consecuencias posteriores, surgidas durante la posguerra y la Guerra Fría— es un excelente ejemplo.

Geoffrey Chew, el protagonista de este trabajo —como veremos más adelante—, comenzó su carrera precisamente en Los Álamos, en el equipo de Robert Oppenheimer, sufrió en cierta medida la represión que a finales de los cuarenta y comienzos de los cincuenta ejercieron el Comité de Actividades Anti-Americanas y el equipo del senador McCarthy, y en medio de este ambiente opresivo adoptó una posición liberal en política, progresista en pedagogía y rupturista en Física, posiblemente influido por el ambiente de su época.

Explicaremos todo esto en el transcurso del trabajo. De momento, en la presente introducción nos sugiere —y consideramos pertinente decir aquí algo sobre el tema— la cuestión de la relación entre ciencia y sociedad. Como dice el profesor Solís en *Razones e intereses*, la historia de la ciencia, a grandes rasgos, se puede abordar desde una perspectiva objetivista —la considerada tradicional—, según la cual todo se explica mediante causas internas a la propia ciencia, y "en la que tienen poca cabida las circunstancias sociales o el contexto metafísico de las teorías científicas"; Otto Neugebauer sería un buen ejemplo de esta posición. Frente a este enfoque se sitúa el de la concepción sociologista de la ciencia, representado por Barry Barnes y la Escuela de Edimburgo:

> Barry Barnes critica la concepción objetivista de la ciencia del tipo de la de Neugebauer, según la cual el conocimiento genuino es una representación justificada de la realidad, al margen de los intereses

individuales y sociales de los científicos (…) Frente a dicha concepción, Barnes señala que el conocimiento está producido por grupos que interactúan socialmente (…) Un caso aún más extremo es el de S. Woolgar, quien afirma que los objetos del mundo natural se constituyen en virtud de la representación, en vez de ser algo preexistente a nuestros esfuerzos por descubrirlos (…) Ni lógica, ni hechos, ni mundo; sólo invención social (Solís, 1994: 11-12).

Y nos sigue explicando:

> Llamo aquí concepción racionalista a aquella que estima que la ciencia es el mejor ejemplo de actividad racional, en la que las decisiones se toman en virtud de reglas y argumentos válidos universalmente (…) Por otro lado, llamo concepción sociologista a la que se propone ser neutral respecto a la racionalidad e irracionalidad, respecto a la verdad y falsedad o, en general, respecto a cualesquiera valoraciones, a fin de concentrarse exclusivamente en el estudio de la ciencia como si fuese un proceso natural en el que las decisiones se toman no por razones, sino por causas sociales.

Dentro de los sociologistas hay dos tendencias: en primer lugar, los etnometodólogos, que son relativistas tanto en lo epistemológico (no hay conocimiento objetivo) como en lo ontológico (no hay una realidad independiente de las construcciones sociales. En segundo lugar, siguiendo a Solís, los partidarios del llamado “Programa Fuerte para la sociología de la ciencia” continúan teniendo viejos prejuicios como el de creer que existe un mundo

exterior que de alguna manera constriñe nuestras creencias. Esta tendencia, aunque sea relativista, acepta que la ciencia tiene algún sentido. No obstante, frente a los racionalistas, explican las decisiones científicas en términos de intereses, no de razones, de modo que los conocimientos generados sobre la naturaleza no son objetivos, sino objetos socialmente construidos a partir de esos intereses (Cfr. Solís, 1994).

Por su parte, León Olivé afirma, en la introducción a *La Explicación Social del Conocimiento,* que “el conocimiento es un hecho social. Seguramente pocos filósofos y casi ningún sociólogo disputarían hoy en día la verdad de esta afirmación”. Verdad evidente en sí misma —casi podríamos decir—, pero no es menos obvio que el problema consiste en explicar qué quiere decir esto exactamente y qué implicaciones tiene. Dependiendo de la perspectiva que se tome, significará una cosa u otra:

> Así, desde la perspectiva tradicional no hay lugar para una verdadera sociología del conocimiento. El auténtico conocimiento, creencia verdadera y justificada, se debe explicar sobre fundamentos puramente epistemológicos (…) Cabe aclarar que el enfoque tradicional no prohíbe toda explicación causal de las creencias. Lo que sostiene es, si se nos permite la insistencia, que es incorrecto tratar de explicar creencias verdaderas por referencia a factores sociales causales (Olivé, 1985: 13).

Olivé pasa después revista a la perspectiva contraria, la de la sociología de la ciencia, que incluye varias tendencias, pero todas comparten la misma tesis:

> La ciencia es una actividad de seres humanos que actúan e interactúan, y por tanto una actividad social. Su conocimiento, sus afirmaciones, sus

> técnicas han sido creados por seres humanos y desarrollados, alimentados y compartidos entre grupos de seres humanos. Por tanto, el conocimiento científico es esencialmente conocimiento social. Como una actividad social, la ciencia es claramente un producto de una historia y de un proceso que ocurre en el tiempo y en el espacio, y que involucra actores humanos. Estos actores tienen vidas no sólo dentro de la ciencia, sino en sociedades más amplias de las cuales son miembros (Mendelsohn, 1977: 3. En Olivé, 1985: 22).

Una vez hecho este rápido repaso a las principales teorías sobre el tema, centrándonos en la labor que nos ocupa y partiendo de que el entorno social debe tener al menos alguna influencia —aunque no sea determinante— sobre el desarrollo científico, en el presente trabajo intentaremos mostrar la influencia de los factores sociopolíticos sobre ciertas teorías físicas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, a través del estudio de la figura del científico norteamericano Geoffrey Chew. Creemos que a lo largo de la exposición se hará evidente que el ambiente en que vivieron y trabajaron los físicos de la época de la posguerra influyó de forma decisiva en su labor. Nos parecería demasiado difícil de justificar una explicación excesivamente determinista acerca de los factores socioculturales, al estilo de la ya clásica tesis de Paul Forman sobre la fuerte influencia de la situación política y cultural de la Alemania posterior a la Primera Guerra Mundial en los físicos alemanes, que habrían estado predispuestos a aceptar una mecánica cuántica que negara el principio de causalidad (Cfr. Forman, 1971). En cambio, defender cierta interacción entre lo sociocultural y lo científico, con influencias en ambos sentidos, nos parece más apropiado, sobre todo para un proyecto de investigación como éste. Cuando al que esto

suscribe le llegue la hora de defender su tesis, tendrá que definirse completamente en lo relativo a este complejo tema.

Un último aspecto que nos gustaría comentar en esta introducción es el nivel de comprensión de las teorías físico-matemáticas necesario para poder hacer historia de la ciencia. No voy a entrar a fondo en esta compleja cuestión teórica, que va más allá del objetivo de este trabajo, que es exponer la vida y la obra de Geoffrey Chew en relación con su contexto social y político, pero sí me gustaría comentar algo al respecto. Es lógico que, para conocer a fondo una teoría física, sea fundamental discernir el aparato matemático que utiliza. Como bien dice Harry Collins, "es obvio, para todos los que trabajan en el campo de la Física, que conocer las matemáticas utilizadas es imprescindible para entender las teorías. En esto consiste realmente comprender las teorías físicas, dado que las matemáticas son la forma en que ellas se expresan" (Collins, 2007: 667). No obstante, se puede lograr un nivel suficiente de interpretación de un artículo o teoría, sin tener por qué dominar al detalle todo el aparato, para hacer historia de la ciencia. El mismo Collins establece varios niveles de conocimiento en relación con las matemáticas, y asegura que, para conocer los desarrollos de la Física y poder hablar sobre ellos, no es obligatorio tener un alto grado de conocimiento en este campo. La física actual es matemática, sin duda, y quienes poseen grandes conocimientos de este disciplina tienen un lugar entre los físicos más prestigiosos, pero los físicos no siempre utilizan un alto nivel matemático en sus escritos, e incluso ha habido físicos brillantes que no han sido muy buenos matemáticos, por ejemplo Niels Bohr, como atestiguaron su hermano Harald y su colega Heisenberg (Collins, 2007: 669-670); por ello, quienes pertenecen a otros campos del saber no necesitan ser expertos para entender las teorías físicas. Lo que requieren es una buena comprensión de los desarrollos conceptuales y conocer sus implicaciones (Cfr. Collins, 2007). En el caso de un estudioso

con formación filosófica, lo que debe poder hacer es seguir la explicación expuesta en el artículo o libro —aunque no sea capaz de desentrañar todo su planteamiento—, conocer la teoría y entender sus consecuencias. El investigador de la filosofía y de la historia de la ciencia puede hablar legítimamente sobre algo tan técnico como las teorías de la Física, a otro nivel y en un plano distinto al que podría adoptar un científico, que no tiene por qué ser mejor ni peor, sino simplemente distinto. Y normalmente —podríamos añadir—, su visión va a ser más amplia y general que la que pueda ofrecer el especialista en ese campo. Por nuestra parte, esperamos cumplir este objetivo en el presente trabajo y en la tesis doctoral que emprendamos.

Me gustaría aprovechar esta presentación para decir que la bibliografía utilizada es casi exclusivamente en inglés, que hemos traducido las citas al castellano en todos los casos para ganar en claridad y que la traducción de los textos es nuestra, excepto cuando exista versión española y la hayamos utilizado.

2. Introducción histórica, breve semblanza biográfica y juventud

Geoffrey Foucar Chew nació el cinco de junio de 1924 en Washington D.C., lugar donde también vivió durante su niñez y su primera juventud. Además de estudiar, desde muy joven se dedicó al deporte, en concreto al béisbol, afición que no se convirtió en carrera profesional por culpa de unos problemas de espalda. Martin Goldberger, otro físico, llegó a decir que fue toda una suerte que Chew sufriera esos problemas de espalda porque lo que perdió el béisbol lo ganó la Física (Goldberger, 1985: 245).

Chew pertenece a la generación de físicos inmediatamente posterior a la de Feynman y Schwinger, y comenzó a destacar en su campo a mediados de la década de los cincuenta del siglo XX. No ha sido un científico de geniales descubrimientos como Newton, Einstein, Bohr o Heisenberg. Tampoco una brillante figura como Oppenheimer, y tal vez ni siquiera un físico de primera fila como Fermi, Pauli, Feynman o Weinberg. No obstante, su labor ha sido muy productiva y su trabajo de difusión ha sido excelente gracias al énfasis que siempre puso en la formación de sus alumnos. Además, fue una persona comprometida en proyectos políticos relacionados con la defensa de las libertades individuales, durante la época más oscura de la historia estadounidense del siglo XX. Y, lo que es más importante para el presente trabajo, protagonizó uno de los episodios más interesantes de la Física del pasado siglo, con importantes repercusiones a nivel científico y filosófico, como ya veremos. Por otra parte —aunque esto sea más bien ajeno a nuestra condición de investigadores—, Chew ha sido también un hombre de gran encanto personal; además de sus buenas dotes físicas e intelectuales, todos los testimonios apuntan a que es una excelente persona con gran poder de persuasión. Su éxito en este aspecto también incluyó

el éxito con las mujeres; no en vano solían llamarle “el hombre más atractivo de la Física de Altas Energías”, hasta el punto de que más de una secretaria de departamento universitario tenía una fotografía suya sobre la mesa. No obstante, ese poder de seducción no era sólo para el sexo femenino, y por eso John Polkinghorne comentaba que Chew es un hombre al que uno estaría contento de comprarle un coche usado; tanto es así que su mayor influencia sobre el mundo de la ciencia la realizó al modo de un vendedor (de ideas) (Polkinghorne, 1985: 23).

Chew estudió en la George Washington University. En 1944, ya graduado por esa universidad, George Gamow —que había sido uno de sus profesores y a quien nuestro protagonista debe su interés por la física de partículas (Gordon, 1998: 15)— le reclutó para el equipo de científicos de Los Álamos, donde Robert Oppenheimer dirigía el Proyecto Manhattan, que hizo posible la construcción de las primeras bombas atómicas; en concreto, se unió al grupo de Edward Teller y Emil Konopinski. Aunque la historia sea bien conocida y pueda leerse en cualquier manual de historia de la ciencia, vamos a resumirla para que sirva de introducción a la época que vamos a tratar y a la figura de Geoffrey Chew.

En la búsqueda de los elementos que en la tabla periódica están situados más allá del uranio —los llamados “transuránicos”—, el italiano Enrico Fermi vio en 1934 que, cuando bombardeaba con neutrones un átomo, éste solía convertirse en el siguiente elemento en cuanto a su número atómico. Probó a bombardear el uranio y obtuvo algo que pensó que sería el elemento siguiente, el 93, transuránico y no existente en la naturaleza. Pero en 1938, los físicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman se dieron cuenta de que lo que en realidad había sucedido es que el átomo de uranio se había dividido en dos, es decir, se había conseguido la fisión radioactiva. Los núcleos resultantes se separan a gran velocidad, y de ellos se liberan neutrones que pueden, a su vez, descomponer nuevos núcleos. Sabían

que, si se lograra una reacción en cadena, en la cual unos neutrones iniciales descomponen átomos de uranio —con la consiguiente producción de más neutrones que repiten el mismo proceso—, se generaría una potencia explosiva desconocida hasta entonces. Su colaboradora Lise Meitner, que por su origen judío había tenido que exiliarse en Copenhague, escribió junto con su sobrino —Otto Frisch— un artículo para explicar el proceso. Se lo entregaron a Niels Bohr, ya toda una institución en Dinamarca. En enero de 1939, cuando se publicó el artículo, Bohr viajó a Estados Unidos para informar a sus colegas norteamericanos. Éstos decidieron estudiar el asunto y confirmaron en poco tiempo que era posible la fisión del uranio.

El 2 de agosto de 1939, Albert Einstein —que residía en Estados Unidos tras su huida de la Alemania nazi por su condición de judío—, preocupado por la inminente guerra mundial y el potencial militar alemán, dirige una carta al presidente de Estados Unidos, Franklin Delano Roosevelt, comentándole las investigaciones realizadas recientemente por los científicos Enrico Fermi y Leo Szilard a partir del descubrimiento de Hahn y Strassman, gracias a las cuales el uranio podría convertirse, en un futuro cercano, en una nueva e importante fuente de armas militares. Einstein recomendaba el inicio de un programa de investigación sobre el uso militar de la energía atómica, con el objetivo de frenar la amenaza nazi. En octubre de ese año, con la guerra ya en curso —aunque con los Estados Unidos aún fuera de ella—, Roosevelt autoriza la fabricación de una bomba atómica. Durante los dos primeros años el proyecto atómico no pasa de ser precisamente eso, un proyecto, y la inversión en él es pequeña. Sin embargo, a finales de 1941, cuando Estados Unidos entra en guerra con Japón, la situación cambia: el programa nuclear adquiere la máxima prioridad, y Gran Bretaña y Canadá se suman a él, que ahora pasa a llamarse “Proyecto Manhattan”. Miles de científicos, algunos de los más importantes de la época,

colaboran y trabajan bajo la dirección científica de Robert Oppenheimer y la supervisión militar del general Leslie Groves, para fabricar dos tipos de bomba atómica: una basada en el uranio y otra en el plutonio.

El 12 de abril de 1945 muere F. D. Roosevelt, y le sucede en el cargo el hasta entonces vicepresidente Harry Truman. El nuevo presidente, que en principio desconocía la existencia del Proyecto Manhattan, es informado de todos sus pormenores: en tres meses Estados Unidos podría disponer de una bomba capaz, por sí sola, de destruir toda una ciudad. Él será quien deba tomar la última decisión al respecto.

El 7 de mayo de 1945 Alemania se rinde, pero aún prosigue la guerra contra Japón, un enemigo casi totalmente derrotado. Los Estados Unidos sabían que Japón estaba sobradamente vencido, que reconocía su derrota y que deseaba rendirse, pero lo harían con la condición de que se conservara la figura del emperador, es decir, una rendición negociada. A pesar de ello, el presidente Truman exige la rendición incondicional a Japón, que no responde a la exigencia. El 4 de julio Churchill comunica a Truman la aprobación de Gran Bretaña para el uso de la bomba. El 16 de julio, Oppenheimer acciona el mecanismo que permite detonar la primera bomba atómica. La prueba, bautizada con el nombre de *Trinity*, explosiona una de las tres bombas nucleares (una de uranio y dos de plutonio) que se habían obtenido hasta ese momento. Fue en una zona desértica, a ochenta kilómetros de Alamogordo. El proyecto Manhattan culmina con éxito, y Oppenheimer, al ver ascender el hongo nuclear a los cielos, pronuncia su famosa frase: "Me he convertido la muerte, la destructora de mundos", citando el texto sagrado hindú Bhagavad-Guita (Oppenheimer sabía leer sánscrito). El 17 de julio de 1945, Truman, presente en la Conferencia de Potsdam, recibe la noticia de los resultados de *Trinity*. El 26 de julio se redacta la Declaración de Potsdam, en la que se exige a Japón la rendición incondicional.

Se trataba de un ultimátum que afirmaba que, sin una rendición de ese tipo, los aliados atacarían Japón y arrasarían el país; no obstante, no se mencionaba la utilización del arma nuclear. El gobierno japonés no hace caso a la declaración de los aliados y Truman, desde Potsdam, da la orden de lanzar la primera bomba atómica. El comandante Paul Tibbets es el encargado de arrojar *Little boy* desde el avión *Enola Gay*; la hora fatídica, las 8:15; la fecha: seis de agosto de 1945. Tres días después, el bombardero B-29 apodado *Bock's Car* deja caer sobre el centro de Nagasaki la segunda bomba atómica, *Fat Man*. El 15 de agosto, el pueblo de Japón oye por primera vez la voz de su emperador, y el motivo es anunciar la capitulación. El 2 de septiembre, en la bahía de Tokio, en la cubierta del acorazado Missouri, se formaliza la rendición.

Esto ha sido un breve resumen de lo que se hizo en Los Álamos y sus consecuencias bélicas. El proyecto se llevó a cabo en secreto y se tuvo mucho cuidado con que el personal fuera de la máxima confianza. Sin embargo, en el equipo había personas de ideas izquierdistas, y entre ellas algunas que tenían —o habían tenido— relación con el partido comunista, y de las que se temía pudieran pasar información a la Unión Soviética de Stalin. Éste, a través de la Tercera Internacional y los partidos comunistas nacionales, intentaba influir en la política interna de diversos países. Resulta curioso que se hubiera elegido como director de un proyecto tan vital para la guerra a Robert Oppenheimer, una persona de ideas izquierdistas, e incluso con cierta relación con el partido comunista. Las autoridades del Proyecto Manhattan conocían su pasado, y sin embargo siguieron considerándole el hombre más adecuado para dirigir el trabajo, sin duda debido a sus cualidades como científico y organizador. Es de suponer que en aquel momento lo importante era ganar la guerra y demostrar el poder militar estadounidense; después vendría la Guerra Fría y las cuestiones políticas.

Volvamos al protagonista de nuestra historia. ¿Qué papel jugó Chew durante la Segunda Guerra Mundial? Era aún muy joven, pero comenzó su carrera cuando, en 1943, a Jean Craighead, periodista del Washington Post, le encargaron escribir un artículo sobre el National War Labor Board, agencia estatal encargada de coordinar la industria en tiempo de guerra. La reportera decidió que el artículo explicaría cómo contribuía a la guerra el trabajo de un físico encargado de un ciclotrón (acelerador de partículas), y que de paso serviría para reivindicar mejores condiciones laborales para una persona que estaba contribuyendo a los esfuerzos bélicos. Pidió ayuda a su amiga Ruth Chew, hermana de Geoffrey, quien en esos momentos estudiaba en la universidad. El 31 de octubre de 1943, tras consultar al protagonista del presente trabajo, apareció el artículo, que mencionaba la posibilidad de fabricar una bomba a base de uranio. En aquel momento se estaban realizando en secreto las investigaciones del equipo de Los Álamos, y nadie ajeno a ellas las conocía. Las autoridades, alarmadas por lo que tenía todo el aspecto de un *chivatazo*, investigaron de dónde había surgido esa información y se llegó hasta Chew. Como parecía que sabía demasiado —pero no había hecho nada malo— se le incorporó al personal de Los Álamos cuatro meses después de haberse publicado el artículo, a comienzos de 1944, con apenas veinte años de edad. Así entró en el panorama científico nuestro amigo. Ofrecemos un extracto del artículo citado.

> "Just an Atom-smasher"
>
> Por Jean Craighead, *Washington Post*, 31 de octubre de 1943.
>
> «A un joven que ha estado estudiando el asunto de la destrucción de países enteros por medio de los átomos le gustaría obtener un aumento de sueldo (…) Ocupado en descubrir la fórmula que permita destruir Berlín

con una cucharadita de polvo antes de que los chicos de Berlín lleguen a dominar esta técnica, se ha dado cuenta de que necesita un nuevo par de zapatos y un abrigo para el invierno.

En el laboratorio donde vive este joven son raros los pensamientos sobre la tienda de la esquina y la política gubernamental de congelación de sueldos (…)

El hilo de la conversación suele derivar hacia los isótopos utilizados para bombardear, o gira en torno al efecto de una partícula alfa sobre las fuerzas eléctricas de un átomo de uranio, o sobre la destrucción de Berlín por medio de explosivos. Para él debe haber sido toda una molestia verse perdiendo el tiempo en un asunto como éste. Sin embargo, el recuerdo de que necesitaba un aumento de sueldo para comprar cigarrillos fue más fuerte que la ciencia de los isótopos, por lo que se tomó algo de tiempo para escribir a su departamento ministerial con el fin de preguntar qué debería hacer en este caso.

¿Por qué no otro trabajo? Al recibir la carta comenzaron a pensar qué podrían hacer para mejorar el sueldo de un investigador atómico. Una de las soluciones propuestas era que consiguiera un aumento mediante otro trabajo. Pero un investigador de esta clase, después de haber estudiado siete años para ser un experto en su campo, difícilmente aceptaría cambiar de trabajo. Este joven no es un personaje ficticio, sino que está muy vivo. Sin embargo, debido al carácter secreto de su trabajo, no podemos publicar su nombre.»

Al acabar la guerra, Chew asistió a la Universidad de Chicago, donde fue alumno de Fermi y de Teller, y compañero de Marvin Goldberger, quien siempre ha mantenido una sincera admiración por su colega. Terminó el doctorado en 1948, en menos de dos años y medio, bajo la dirección de Enrico Fermi. El título de su tesis fue "The Elastic Scattering of High-Energy Nucleons by Deuterons". Ese mismo año, junto con su compañero Goldberger, asistió como alumno post-doctorado al Radiation Laboratory de Berkeley, para colaborar con Robert Serber, quien había participado en el Proyecto Manhattan e ideado los nombres de las dos bombas atómicas lanzadas sobre Japón. Serber, después de lanzarse las bombas, acudió a Hiroshima y Nagasaki para comprobar *in situ* el poder destructor de las mismas. A pesar de su labor en la guerra —lo mismo que sucedió con otros científicos notables—, en 1948 tuvo que defenderse de la acusación de deslealtad, que se originó porque varios familiares de su mujer eran judíos de tendencia socialista. También influyeron sus discusiones con Edward Teller, el más belicista y adepto al uso militar de la energía nuclear entre los científicos de la época.

Volviendo a Chew, haciendo un breve resumen de lo que vamos a exponer a lo largo de este trabajo, casi toda su labor tuvo lugar en la Universidad de Berkeley, California, excepto unos años en que impartió clase en Illinois. El punto cumbre de su carrera tuvo lugar desde mediados de los años cincuenta hasta mediados de los sesenta. A pesar de todos sus esfuerzos —como veremos—, a finales de esta década sus teorías ya habían perdido gran parte de su atractivo. Después de mediados de los setenta se ha vuelto a reivindicar su trabajo, pero no ha sido tanto desde el ámbito de la ciencia, sino desde sectores menos serios, semi-científicos e incluso pseudo-científicos, después de que Fritjof Capra, uno de los ideólogos de las tendencias más próximas a la ciencia rigurosa del movimiento New Age —aunque también cae en ciertas simplificaciones y excesos— , le reivindicara en su

best-seller *El Tao de la Física* como fundador de una nueva forma de pensar la Física y la Filosofía.

En el ámbito académico, Chew fue alumno de Enrico Fermi y Edward Teller, y profesor de David Gross y John Schwarz, por nombrar sólo a algunos científicos muy conocidos. Es profesor emérito de la Universidad de California desde 1991, y forma parte de la National Academy of Sciences y de la American Academy of Arts and Science. Recibió el *Hughes Prize* de la American Physics Society en 1962 y el *Lawrence Prize* en 1969. Se ha casado dos veces; perdió a su primera mujer en 1971, tras una trágica enfermedad. Con ella había tenido dos hijos mellizos, Beverly y Berkeley. Con Denyse, su segunda mujer, ha tenido tres hijos: Pierre-Yves, Jean-Francois y Pauline.

3. Los comienzos de la carrera de Chew

3.1. La posguerra

El nombre de Chew ha estado casi siempre ligado a la Universidad de California, y ya con veinticinco años era allí profesor asistente. Sin embargo, muy pronto surgieron ciertos problemas que describiremos a continuación. Siempre fue poco amigo de seguir normas irracionales por mera obediencia a quienes las dictan, de la misma forma que no aceptó la tradición imperante en Física, la teoría cuántica de campos, como también explicaremos posteriormente. Por eso, a comienzos de la década de los cincuenta se comprometió en actividades políticas relacionadas con el mundo académico, coincidiendo con uno de los períodos más oscuros de la vida social y cultural estadounidense.

La Segunda Guerra Mundial, con la lucha contra el nazismo, había supuesto un relativo parón en la sempiterna actitud anticomunista de los Estados Unidos, el país del individualismo y del pionero emprendedor. Sin embargo, poco después de terminar la guerra se retomó esta característica del pueblo norteamericano, ahora con más intensidad porque la Unión Soviética se erigía como único opositor a la dominación estadounidense sobre el mundo. A ello se unía que el monopolio nuclear de Estados Unidos estaba en peligro e iba a durar poco. Es precisamente en este ambiente de gran relevancia de la energía atómica donde entra en juego la importancia concedida a la física teórica, así como el miedo al espionaje científico y a una posible venta de información nuclear al enemigo.

Los científicos —en especial los físicos— se van a encontrar con que los políticos, los periodistas y la opinión pública desean controlar su actividad. Pero ellos, conscientes de su papel y de las amenazas que planean sobre el mundo debido a los riesgos inherentes a la energía nuclear, saben que tienen mucho que decir. Ya el 11 de junio de 1945, dos meses

antes de lanzarse las bombas atómicas sobre Japón, James Franck había elaborado un reportaje sobre los peligros del empleo de armas nucleares y de su posible proliferación tras la guerra, conocido como “Informe Franck”. Dice Sánchez Ron que “no es preciso elucubrar mucho sobre lo que esta pequeña historia significa. Los científicos habían hecho posible y puesto en marcha un instrumento que poseía obvias implicaciones sociopolíticas. Algunos intentaron controlar esas implicaciones, pero los políticos no se lo permitieron. Un nuevo ejemplo, particularmente transparente, de las relaciones entre el poder y la ciencia” (Sánchez Ron, 2007: 743).

Muy al contrario, las autoridades no sólo no iban a permitir que los científicos tomaran las decisiones relativas a la energía atómica, sino que desconfiaron por completo de aquellos cuyo trabajo fuera vital para la seguridad del país y que —por motivos ideológicos— pudieran pasar al enemigo información considerada como secreto de estado. La polémica estaba servida:

> Cuando la guerra terminó, los científicos fueron catapultados a un papel destacado, debido a su trabajo en la producción de penicilina, el radar y, sobre todo, la bomba atómica (…) Personas cuyos flirteos con el socialismo o el comunismo durante la década de los treinta no había sido nada de lo que avergonzarse se encontraron, a finales de los cuarenta, con que eran objeto de temor y odio (…) Los americanos veían a los ocupantes del Kremlin como unos conspiradores diabólicamente brillantes, implicados en una conjura para conquistar el mundo y esclavizar a la humanidad (…) ¿Por qué los científicos estaban entre los grupos cuya lealtad más preocupaba? La respuesta es fácil (…) Desde la guerra eran considerados vitales para la seguridad nacional. Ellos sabían

> secretos, en concreto los relacionados con las armas nucleares. Además, en los años cincuenta el público norteamericano se dio cuenta de que los científicos solían tener ideas políticas liberales o izquierdistas (Cfr. Badash, 2000).

Suele identificarse este período con el ultraconservador senador Joseph McCarthy y denominarse con el nombre de “macartismo”, pero lo cierto es que, antes de que éste disparase la histeria colectiva con su siempre cambiante lista de comunistas infiltrados en el gobierno, el Comité de Actividades Antiamericanas (HUAC = *House Un-American Activities Committee*), dependiente de la Cámara de Representantes, ya cazaba sus propias brujas unos años antes. El futuro presidente de los Estados Unidos, Richard Nixon, fue una de las figuras más destacadas de este organismo a finales de los cuarenta y comienzos de los cincuenta, y de hecho forjó los inicios de su carrera al lograr brillar con luz propia en la heroica tarea de búsqueda y captura de rojos. También antes de que McCarthy entrara en escena, el FBI de John Edgar Hoover ya acosaba y detenía a cualquier sospechoso de disidencia, e incitaba a la delación y a la denuncia, que bien podían ser anónimas. Nixon, Hoover y McCarthy: el triunvirato del ultraconservadurismo y visceral anticomunismo estadounidenses.

Por citar un nombre conocido, Alger Hiss, empleado público, doctor en leyes por la Escuela de Leyes de Harvard y miembro de la delegación norteamericana que acompañó a Roosevelt a la Conferencia de Yalta en febrero de 1945, fue acusado de haber pertenecido a una célula secreta del Partido Comunista en los años 30. Nixon, al mando del HUAC, dio un buen impulso a su carrera intentando demostrar que era un espía soviético, y después de un largo proceso fue condenado a tres años y medio de cárcel por perjurio. Poco después, el

senador McCarthy comenzó a enseñar su tristemente famosa lista de comunistas infiltrados. En realidad, nunca encontró elementos subversivos, y la mayoría de los implicados eran totalmente leales; no obstante, fueron seleccionados y defenestrados por haber sido anteriormente simpatizantes de izquierdas.

Centrándonos en el ámbito estrictamente científico, varios físicos que habían jugado un papel importante en la investigación nuclear efectuada durante la guerra sufrieron acoso por ser sospechosos de deslealtad y fueron acusados de pasar información a la Unión Soviética. No era necesario que pertenecieran al partido comunista ni a ningún otro partido de izquierdas; bastaba con ser simpatizante de algún partido o grupo progresista, tener algún familiar no muy de fiar o, en algunos casos, ser de ascendencia judía. Con las penas impuestas —que en su mayoría fueron leves, excepto algunas condenas de prisión y la ejecución de los Rosenberg— se pretendía administrar castigos ejemplarizantes, crear miedo entre los posibles opositores. No era menos importante descargar la responsabilidad de todos los problemas sociales sobre estos perfectos chivos expiatorios (el del chivo expiatorio es un fenómeno histórico casi omnipresente y muy interesante, pero no nos podemos detener a tratarlo).

Julius y Ethel Rosenberg fueron juzgados y ejecutados en junio de 1953 tras haber sido declarados culpables de pasar a la Unión Soviética información nuclear, la cual les era supuestamente suministrada por David Greenglass, hermano de Ethel, un científico que había trabajado en Los Álamos en la fabricación de la bomba atómica. Hay numerosos libros que tratan sobre tema, entre ellos el de Gregg Herken, *Brotherhood of the Bomb*; el de Schweber, *In the shadow of the bomb;* y el de Richard Polenberg, *In the Matter of J. Robert Oppenheimer,* que son los que seguimos en la presente exposición. Sin duda, el caso más conocido e ignominioso fue el acoso y derribo que sufrió Robert Oppenheimer, quien

de héroe nacional pasó a ser un pelele apaleado. Al padre de la bomba atómica ya le habían investigado el FBI y el departamento de seguridad interna del Proyecto Manhattan por sus tendencias y amistades izquierdistas durante la década de los treinta. A pesar de ello, el general Leslie Groves, consciente de su importancia para la buena consecución del proyecto nuclear, decidió no retirarlo. Tras el lanzamiento de las bombas atómicas sobre Japón, Oppenheimer dejó de sentirse orgulloso de su trabajo y pasó a sufrir sentimientos de culpabilidad. En un momento en que la física nuclear era considerada asunto de importancia nacional —en el año 1946— dimitió de su cargo de director de Los Álamos y pasó a convertirse en presidente del Comité Asesor General de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. Desde ese puesto intentó —proponiendo la creación de un control internacional— que no se disparase la carrera armamentística a raíz de la rivalidad con la Unión Soviética. Cuando se habló de la creación de una bomba de fusión nuclear —la bomba de hidrógeno—, Oppenheimer se opuso en principio, aunque después manifestó su acuerdo. El principal impulsor de esa nueva arma era Edward Teller, antiguo miembro del Proyecto Manhattan, quien de esta forma se unió a la lista de enemigos de Oppenheimer, ya bastante nutrida. Cuando el macartismo llegó a su punto álgido, se propuso revocar a Oppenheimer la credencial de seguridad aludiendo a la afiliación comunista de David Bohm, Joseph Weinberg y Bernard Peters —antiguos alumnos suyos—, y de su hermano Frank. En 1953, el presidente Eisenhower le pidió que renunciara a su cargo y a la credencial, pero Robert solicitó una auditoría para demostrar su lealtad. Tras sufrir el suplicio de los interrogatorios, después de varias contradicciones en sus declaraciones y el testimonio negativo de Edward Teller, su credencial de seguridad fue revocada. Tuvieron que pasar diez años para que el presidente Johnson le rehabilitara de manera simbólica en 1963 otorgándole el Premio Enrico Fermi.

El caso de David Bohm es aún más lamentable. Oppenheimer le pidió que se incorporara al Proyecto Manhattan, pero el general Leslie Groves, informado sobre sus ideas comunistas, lo impidió. Tras la guerra fue profesor asistente en la Universidad de Princeton. En mayo de 1949, el HUAC le citó para testificar sobre su pasado político. Bohm apeló a la Quinta Enmienda para evitar declarar contra sus colegas, y en 1950 fue arrestado por negarse a contestar al Comité del Congreso. El año siguiente fue absuelto, pero la Universidad de Princeton ya le había cesado y no volvió a contratarle. Ninguna universidad de los Estados Unidos se mostró dispuesta a contar con él, por lo que tuvo que exiliarse a Brasil para ejercer la docencia. Posteriormente residió en Israel, y después en Londres, donde se instaló definitivamente, fue profesor en el Birbeck College y vivió hasta su muerte, acaecida en 1992. Su principal aportación a la Física fue muy interesante, aunque desechada por la mayoría de la comunidad: a partir de un desarrollo de Louis de Broglie, elaboró una interpretación causal de la mecánica cuántica, frente a la indeterminista y probabilista de la Escuela de Copenhague, de Bohr y Heisenberg. (Cfr. Peat, 1997).

Dice Jessica Wang que, durante la década de posguerra, el anticomunismo marcó las dimensiones políticas de la vida pública y el sistema de acreditaciones de seguridad para poder trabajar en el campo de la energía nuclear se hizo oficial. El establecimiento, en 1947, del programa federal de lealtad, que requería un juramento por parte de todos los empleados federales, aumentó el poder del FBI. En la primera década tras la guerra, el anticomunismo afectó a prácticamente todas las áreas de la vida americana, y que cualquiera que intentaba retar al orden político se arriesgaba a enfrentarse a la acusación de deslealtad, a la pérdida de su empleo y a ser vigilado constantemente. La represión de la Guerra Fría restringió las actividades políticas de los científicos por dos medios:

investigaciones individuales relacionadas con la lealtad y la seguridad, y vigilancia oficial a ciertas organizaciones (Cfr. Wang, 2002).

En otro de sus escritos, Wang afirma que las ansiedades del mundo de la posguerra hicieron surgir cuestiones importantes para los científicos norteamericanos. Éstos comenzaron a meditar sobre su identidad política, a intentar lograr cambios fundamentales en la relación ciencia-gobierno y a replantearse la naturaleza básica de la relación entre la ciencia y la sociedad. Sin embargo, la Guerra Fría, el anticomunismo y el miedo a las armas nucleares aparecieron de forma que los científicos fueron las primeras víctimas del miedo rojo tras la Segunda Guerra Mundial. El anticomunismo hizo más que interferir con las vidas de los científicos como personas; afectó a toda la labor científica. Los de tendencia liberal e izquierdista propusieron alternativas a la proliferación nuclear y a la predominancia de la investigación militar, y durante un breve intervalo de tiempo parecía que sus ideas podían triunfar. Pero la represión política que acompañó al resurgimiento del anticomunismo en la posguerra pronto puso a la defensiva a la política científica liberal (Cfr. Wang, 1999).

Sin embargo, el acoso a los físicos teóricos, que parecía tan de sentido común para los políticos y parte de la prensa y la opinión pública, se basaba en un error de principio, una falla conceptual que pone de relieve magistralmente David Kaiser. Los políticos, los periodistas a su servicio y la opinión pública general creían que fabricar armas nucleares sólo dependía de conocer unas cuantas fórmulas, las cuales eran creación de los físicos. Pensaban que el paso de unas fórmulas al bando contrario podía ayudar a éste a fabricar armas nucleares, cuando la realidad es que esa información era conocida por todos los físicos —de uno y otro lado—, y que la fabricación de una bomba atómica es fruto del trabajo de muchas personas, donde el conocimiento tácito del *how to*, que no se puede

transmitir mediante textos, juega un papel importante. El mismo presidente Truman insistía en que el conocimiento teórico esencial en que está basado el descubrimiento de la bomba atómica estaba ampliamente difundido. A pesar de ello, en la posguerra y la Guerra Fría existió una continua especulación —e incluso paranoia— sobre la existencia de secretos nucleares que podían transmitirse por escrito, un claro ejemplo de fetichismo por la palabra escrita que llegó incluso a ser el tema de novelas y películas de la época (Cfr. Kaiser, 2005).

3.2. El *loyalty oath* de la Universidad de California

Todos los sectores de la sociedad se vieron implicados en esta persecución de elementos sospechosos de izquierdismo, incluyendo la universidad. La obra de Ellen Schrecker realiza una magnífica descripción de los problemas que sufrió la universidad en esta época. El presidente Truman, tras una gran presión por parte de los republicanos, aprobó el 22 de marzo de 1947 la Orden Ejecutiva 9835, la cual establecía un nuevo programa de juramentos para los empleados federales. Como las medidas tomadas previamente ya habían eliminado a los comunistas y a otros disidentes de sus puestos, se trató sólo de un gesto político. Su objetivo real era proteger a la administración demócrata de las exigencias ultraconservadoras del partido republicano, pero fracasó en su objetivo. Lo que realmente sucedió fue que el anticomunismo se estableció como ideología oficial del país y que se sentaron las bases del macartismo, que poco después radicalizó la situación y sembró la histeria colectiva.

Ninguna otra decisión iba a agudizar la guerra fría interna tanto como lo hizo el programa de juramentos. Los comunistas y los sospechosos de serlo podían ser despedidos de sus trabajos, y las acusaciones infundadas florecieron. Como el FBI insistió en que iría

en detrimento de la eficacia revelar la identidad de sus informadores, las acusaciones anónimas eran totalmente válidas y podían llegar a costar el puesto de trabajo. Lo cierto es que era ridículo pensar que a aquellas alturas el partido comunista de Estados Unidos tuviera mucha influencia; sin embargo, casi todo el mundo pensaba que el peligro era inmenso, y se demandaba constantemente que no hubiera rojos en el gobierno (Schrecker, 1986). Cuando el ínclito senador de Wisconsin entró en escena y se unió a la lista de inquisidores, el macartismo —el término que suele usarse para resumir toda esta época— supuso la violación de las libertades civiles para miles de ciudadanos, a través de listas negras y despidos sin motivo. Pero lo que a nosotros más nos importa en este momento es que este anticomunismo invadió todos los departamentos de física de las universidades. Hubo numerosas protestas por parte de los estudiantes y los profesores, pero con el comienzo de la guerra de Corea los ultraconservadores ganaron fuerza, y se comenzó a denegar pasaportes para salir al extranjero, y a su vez a impedir que los científicos extranjeros entraran en el país.

Volvamos de nuevo al protagonista de nuestro trabajo, Geoffrey Chew, y a su universidad, Berkeley. Además del ambiente tan hostil para la libertad de pensamiento que supuso el inmenso poder que en aquella época de Guerra Fría tuvieron el HUAC, el FBI y McCarthy y sus secuaces, el personal de la Universidad de California tuvo que vérselas con un problema añadido: un juramento de lealtad adicional —el *loyalty oath*—, aparte del que debían cumplir como trabajadores estatales. La universidad estaba dirigida por un cuadro de regentes compuesto por veinticuatro miembros, dieciséis de los cuales eran designados por el gobernador del estado. Estos regentes, una especie de dirección a las órdenes de los organismos políticos —y por tanto ajeno a la propia universidad— fueron quienes decidieron imponer este juramento de lealtad especial. Según parece, fue la presión política

lo que llevó a los regentes a querer asegurarse la lealtad de los empleados de la universidad (Cfr. Gardner, 1967).

Afirma David Kaiser que pocos departamentos de física experimentaron con más dureza los dolores de la transición hacia la escena política de posguerra que el de Berkeley. A comienzos de 1949, la sección californiana del HUAC inauguró un programa legislativo encaminado a aislar a cualquier persona que supusiera una seria amenaza para la libertad y la seguridad. El HUAC investigó al Radiation Laboratory —donde Ernst Lawrence tenía su famoso ciclotrón, el precedente de los aceleradores de partículas actuales— porque pensaba que parte del personal que había contribuido a la fabricación de la bomba atómica era comunista. Se hablaba de un "científico X" que había trabajado en el laboratorio durante la guerra, y que supuestamente habría pasado secretos nucleares a la Unión Soviética. Cinco físicos que habían colaborado allí fueron interrogados intensivamente. Aunque no hubo evidencia alguna de espionaje, todos fueron acusados de desacato al Congreso y perdieron inmediatamente su trabajo. En septiembre de 1949, sólo uno de estos físicos permanecía en Berkeley; se trataba de David Fox, profesor asistente. Fox fue interrogado, pero rechazó dar nombres apelando a la Quinta Enmienda veinticinco veces. Tres meses después, el cuadro de regentes de la Universidad de California le despidió sin haber formulado cargos contra él (Kaiser, 2002: 242).

Como ya hemos mencionado, la controversia del *loyalthy oath* giró en torno a la imposición de un juramento especial para la Universidad de Berkeley, además del tradicional incluido en la Constitución del Estado de California. El juramento requería que todos los empleados de la universidad declararan no pertenecer al partido comunista, y cada firma tenía que ser comprobada por un notario público. La renovación de los contratos y el pago de los sueldos estaban condicionados a la aceptación del juramento. Para complicar

más la situación, los regentes no informaron a la universidad del nuevo requisito hasta mediados de junio de 1949, dos meses después de haberlo aprobado oficialmente, y justo cuando muchos partían rumbo a sus vacaciones de verano. A continuación ofrecemos los distintos juramentos a que debían someterse los empleados. El juramento constitucional, obligatorio para todos los empleados del estado, era el siguiente:

> "Juro (o prometo) solemnemente que acataré la Constitución de los Estados Unidos y la Constitución de Estado de California, y que emplearé todas mis capacidades para cumplir las obligaciones del departamento al que pertenezco."

El texto adicional, redactado por los regentes de la Universidad de California, en su primera versión (25 de marzo de 1949) decía así:

> "No creo en, ni soy miembro de, ni apoyo, a ningún partido u organización que crea en, defienda o proponga el derrocamiento del gobierno de los Estados Unidos por la fuerza o la violencia."

Una posterior revisión (24 de junio de 1949) incluyó la alusión al partido comunista:

> "No soy miembro del partido comunista, ni tengo ningún compromiso o acuerdo que esté en conflicto con las obligaciones aceptadas al aceptar el presente juramento" (Cfr. Stewart, 1950).

Pronto surgió una dura lucha entre los regentes y la facultad: la mayor parte de los miembros de ésta afirmaba que aquéllos violaban su derecho a elegir a sus propios miembros. Muchos de ellos, incluyendo varios profesores exiliados, llegados en los años treinta, procedentes de dictaduras europeas (Alemania e Italia), rechazaron inmediatamente el juramento por considerarlo una injerencia en la libertad académica. Pronto se les unió un

amplio sector de profesores, así como de alumnos. Todos se enfrentaron al dilema de "firma o vete de aquí", lo cual implicaba, por supuesto, también la pérdida del sueldo. Por otra parte, las protestas de la facultad no tenían que ver tanto con la persecución de comunistas, como con la oposición al hecho de que los empleados de la universidad tuvieran que firmar un juramento especial, distinto al requerido a otros funcionarios del estado. Cientos de miembros de la facultad se negaron a firmar el juramento a modo de protesta.

Veamos una de las cartas dirigidas a Sproul, presidente de la universidad:

> Mi negativa a firmar se basa en estos puntos: El juramento es una afrenta contra mi dignidad e integridad como persona y docente. Considero intolerable la presunción de que pertenezco al partido comunista. El juramento es una limitación para la libertad académica. No aceptaré firmar nada a lo que se me obligue. Lo que más duele de la actitud de los regentes de la universidad es su ejercicio de poder para que nos sometamos a él (Stewart, 1950: 150).

La mayoría de los alumnos reaccionó también en contra del juramento especial. Una declaración de la asociación de alumnos se preguntaba si realmente los empleados y los docentes de la facultad debían jurar que no pertenecían al partido comunista. Estaban de acuerdo en que era necesaria la política de alejar a los comunistas de los puestos influyentes; sin embargo, el problema residía en el método utilizado para conseguir ese fin. Propusieron, en lugar del juramento de lealtad impuesto por los regentes, que en los contratos se añadiera una mención a que el firmante no era miembro del partido comunista,

ni de ninguna otra organización que defendiera un cambio de sistema político por la fuerza (Cfr. California Alumni Association, 1950).

De los profesores que rechazaron firmar, ninguno lo hizo porque pertenecieran al partido comunista. Irónicamente, David Fox, acusado de espionaje —supuestamente realizado mientras trabajaba en el Radiation Laboratory y despedido por los regentes— sí había firmado el juramento. Frente a la oposición de la mayoría de profesores y alumnos de la universidad, la respuesta de los regentes fue endurecer su postura en febrero de 1950: cualquier empleado que no hubiese firmado el juramento a finales de abril sería despedido. Los alumnos y el presidente de la universidad, Robert Sproul, consiguieron que los regentes aceptaran que cada caso se tratara de forma independiente. Sin embargo, cuando, a finales de junio de 1950, Corea del Norte invadió Corea del Sur y los Estados Unidos entraron en el conflicto, la mayoría de los que se habían opuesto al juramento lo firmó y los regentes despidieron a los treinta y cinco no firmantes el 25 de agosto de 1950, aunque ninguno de ellos había sido acusado de ser miembro o simpatizante del partido comunista.

David Gardner, que posteriormente llegó a ser presidente de la universidad, escribió un libro sobre los hechos, aunque no fue testigo directo porque era aún muy joven y no tenía contacto con la universidad en aquella época. Relata que posteriormente, en octubre de 1952, la corte suprema del estado de California ordenó a los regentes que comunicaran a los opositores que firmaran un juramento de lealtad estatal, no el especial. La controversia del juramento de lealtad convulsionó durante tres años a la mayor universidad del país y uno de los centros de letras y ciencias más importantes del mundo. Fue un asunto que anticipó casi todos los temas que iban a surgir y afectar a las universidades americanas durante aquella problemática época. No obstante, según Gardner, éste no fue un conflicto ideológico, no una cuestión de principios ni de ideas políticas. Fue una lucha de poder que consistió en

enfrentamientos personales entre hombres orgullosos e influyentes. Gardner caracterizó la polémica como “un extraordinario debate sobre la futilidad”, en el cual “todos perdieron y nadie ganó”. A pesar del barniz político que parecía impregnarlo todo —según el citado autor—, el nuevo juramento tenía más que ver con cuestiones relativas al autogobierno que con el miedo a la infiltración comunista en esta universidad, la mayor del país, con 3.200 docentes y 6.250 empleados no docentes (Cfr. Gardner, 1967). Independientemente de lo que afirme Gardner sobre el carácter de esta controversia en un libro que publicó bastantes años después (1967) —posiblemente para quitar importancia al asunto—, lo cierto es que el problema se vivió y se recuerda aún como un asunto político y relacionado con las libertades individuales.

Pero sigamos describiendo este interesante tema, en el que ahora entra en juego Chew. A consecuencia de la polémica, el departamento de Física perdió seis miembros en un año. Dos profesores, Harold Lewis y Gian Carlo Wick, permitieron que se les despidiera en agosto de 1950, cuando los regentes expulsaron finalmente a todos los no-firmantes, y dos meses antes, en junio de 1950, cuatro profesores (Robert Serber, Wolfgang Panofsky, Howard Wilcox y Geoffrey Chew) ya habían dimitido en señal de protesta. El primero en hacerlo fue Geoffrey Chew, el protagonista de nuestra historia.

Chew rechazó firmar lo que denominó, en carta dirigida a Oppenheimer, “la parte objetable del nuevo contrato”, la cual amenazaba, en su opinión, “el derecho a la privacidad en creencias políticas”. Se sintió decepcionado por los débiles intentos —según él— de la facultad para luchar contra la imposición del juramento. Como explicó a Birge en julio de 1950, había decidido “escapar de una situación intimidante y precaria” (Kaiser, 2002: 248). Chew publicó un artículo sobre esta polémica en el que se preguntaba que, “en tiempos de guerra, ¿qué seguridad puede tener un inconformista?”. Con el comienzo de la Guerra de

Corea, los escasos no firmantes se habían convertido en leprosos que debían apartarse de la vista. Además, Chew afirmaba que el Radiation Laboratory era el principal estímulo de su trabajo científico, y ahora estaba claro que los no firmantes no eran bien recibidos. "Aunque siguiera aquí, la atmósfera en contra no sería agradable. Esto sería una forma más sutil de intimidación". Chew aseguraba que la facultad había recibido un trato discriminatorio y que había sido sometida a un juramento más específico que el requerido a los otros empleados del estado. Esa controversia había sido estimulada en parte por los "fundamentalistas", refiriéndose con esta expresión a los regentes y a quienes les imponían las órdenes. Lo que se hallaba en juego era la libertad de cátedra contra la voluntad de los regentes de imponer sus normas. Según comenta, el problema comenzó cuando el presidente de la universidad recibió un mensaje relativo a que se debía asegurar de alguna forma la "pureza" del personal, relacionado con presiones procedentes del HUAC. Todos los miembros de la universidad, junto con los demás empleados estatales, juraban cada año la constitución, pero los regentes pensaron que un juramento especial para los empleados de la universidad, el cual contuviera específicamente la afirmación de no pertenecer al partido comunista, serviría para tranquilizar a las autoridades (Chew, 1950).

Chew no es el único profesor que dejó testimonio de aquel momento crítico. Emilio Segre —Premio Nobel en 1959 por el descubrimiento del antiprotón— dice en su autobiografía que los regentes tuvieron la idea de exigir un juramento de lealtad que incluyera la declaración de no pertenecer al partido comunista. Según Segre, el tono del juramento no era demasiado agresivo, pero sí resultaba humillante obligar a los miembros de la universidad a jurar lo que no debían hacer los demás empleados estatales: "El texto del juramento era relativamente inofensivo, pero no era inofensivo exigirlo a los profesores y no a todos los demás empleados del estado" (Segre, 1993: 234). Según Segre, entre los

regentes prevaleció la facción más radical y conservadora, y quienes no acataron el juramento fueron despedidos. En el departamento de Física, esto dio como resultado serias pérdidas, como por ejemplo las de Geoffrey Chew, Wolfgang Panofsky, Marvin Goldberger, Gian Carlo Wick y Robert Serber. Afortunadamente, estos hombres encontraron excelentes puestos y no debieron realizar severos sacrificios personales, excepto tener que mudarse. Ninguno era comunista, pero rechazaron por principio acatar un juramento discriminatorio. La universidad perdió a hombres distinguidos, muchos de los cuales nunca volvieron a la institución (Cfr. Segre, 1993).

Relataba Robert Sproul:

> El profesor Birge afirma que el Departamento de Física, al comienzo del presente año académico, contaba con cinco físicos teóricos, cuatro de los cuales (Wick, Chew, Lewis and Panofsky) han aceptado plazas en otras universidades (Sproul, 1951).

Frente a estos “disidentes”, el legendario Ernest Lawrence —Premio Nobel en 1939 por su labor con el ciclotrón— apoyó la decisión de los regentes y se opuso a los no firmantes. Luis Alvarez —Premio Nobel en 1968 por su trabajo sobre la resonancia magnética nuclear— y otros, aunque se mantuvieron apartados de la controversia, crearon en el Radiation Laboratory un ambiente que convenció a todos de que los no firmantes y quienes les apoyaran no serían bien recibidos. Para los jóvenes físicos del laboratorio quedaban pocas dudas, y los *postdocs* que no habían firmado el juramento encontraron en sus mesas, el día 30 de junio, sus correspondientes notas informándoles de que debían dejarlo todo y salir de allí al terminar el día.

La lucha entre los no firmantes y los regentes duró siete años y tuvo importantes consecuencias para el Departamento de Física de Berkeley. Fuera una caza de brujas anticomunista, una lucha en torno a la libertad académica o un juego de poder de la facultad contra la administración, las repercusiones de esta polémica fueron muy relevantes para la historia social y cultural de los Estados Unidos, ya que puede considerarse un precedente del Free Speech Movement y la Nueva Izquierda, que tanto auge tuvieron en Berkeley en la siguiente década.

3.3. Chew abandona Berkeley

Para lo que nos ocupa, la principal consecuencia de todo esto fue que Chew abandonó Berkeley y se marchó a la Universidad de Illinois, donde trabajó con Francis Low, un talentoso físico que ya había trabajado en el Instituto de Estudios Avanzados con Oppenheimer y de quien recibió una favorable influencia. Como bien dice Kaiser, sus razones para dejar Berkeley sólo se pueden entender en el contexto de la Guerra Fría y el macartismo considerando la situación política en que se encontraban los físicos tras la Segunda Guerra Mundial y cómo se enfrentaron a la guerra fría (Cfr. Kaiser, 2002). Según Denyse Chew —la segunda mujer de Geoffrey—, nuestro protagonista sólo deseaba trabajar con tranquilidad, afirmación que sugiere que no tenía muchas motivaciones políticas (Cfr. Denyse Chew, 1985). Sin embargo, la actividad que mostró Chew en los años siguientes indica precisamente todo lo contrario.

4. El exilio

Como hemos dicho, Chew se marchó de Berkeley en julio de 1950, en protesta por la obligatoriedad de firmar un juramento de lealtad que incluía la declaración de no ser comunista. Fue contratado por la Universidad de Illinois en Urbana, donde trabajó durante seis años. Allí, en un año fue ascendido de profesor asistente a profesor titular, y en 1955 fue nombrado catedrático.

En Illinois, Chew comenzó un nuevo modo de hacer física que siempre envidiaron muchos de sus compañeros. Por ejemplo, Marvin Goldberger comentaría mucho después: "Siempre tenía un programa, nunca se mostraba indeciso sobre qué hacer en el futuro inmediato". (Goldberger, 1985: 243). Los años de Illinois fueron muy buenos para Chew, ya que disfrutó de una excelente relación con Francis Low, un experto en teoría de campos. Además, se interesó enormemente por el trabajo de Tullio Regge y Steven Frautschi, que le serían muy útiles para sus propios desarrollos posteriores, especialmente el del primero.

Ya al principio de su estancia —seguramente como consecuencia de la injusticia y humillación que supuso el juramento de lealtad de la Universidad de California—, Chew se fue comprometiendo en las asociaciones sindicales del movimiento de los científicos atómicos. Al poco de llegar allí, fundó la rama local de la Federación de Científicos Americanos (FAS), que en aquel momento de represión política se dedicaba a acumular información sobre los abusos de McCarthy, el HUAC y el FBI (Kaiser, 2002: 249). La FAS se había convertido en una organización burocrática que recogía información sobre los peores abusos del macartismo. En la época en que Chew se integró, debido a las presiones del HUAC y del FBI, la FAS realizaba menos demostraciones públicas y seguía la política de la "diplomacia tranquila" (Cfr. Wang, 1999). Chew participó directamente en esta vía

diplomática y convenció a muchos de sus colegas para que se unieran. Bajo su dirección se organizaban en el campus reuniones y charlas sobre la Quinta Enmienda, a fin de asesorar a quienes tuvieran que defenderse ante los tribunales, acusados de espionaje o de ser comunistas. Animó a sus colegas a unirse a la federación y organizaba encuentros mensuales para intercambiar impresiones. Chew fue ampliando sus actividades, y en noviembre de 1955 testificó ante un subcomité del senado como presidente del Comité de Pasaportes de la FAS. El sindicato de científicos protestaba por la denegación de pasaportes por motivos políticos. Entre las autoridades, debido a la paranoia relacionada con los secretos nucleares que hemos comentados antes, había miedo de que los científicos salieran del país para pasar información secreta a los soviéticos (Kaiser, 2002: 250).

Mientras tanto, en California, después de haberse llevado a los tribunales el caso de los despidos originados por el juramento de lealtad de la universidad, en octubre de 1952 la corte suprema falló a favor de los despedidos y ordenó a los regentes que los volvieran a contratar. La decisión no hablaba del dinero que se les debía, cuestión que también fue resuelta a favor de los afectados en la primavera de 1956.

Tan sólo un año después de su salida de Berkeley, algunos profesores veteranos comenzaron a pensar en contratar de nuevo a Chew. Birge, presidente del departamento de física, lo intentó, pero Chew decidió quedarse en Illinois de momento, donde se encontraba muy a gusto. Sin embargo, en 1957, ya sí estimulado por la idea de volver a Berkeley, pasó allí unos meses como "profesor visitante", aprovechando la concesión de un año sabático en la Universidad de Illinois. La primera mitad de ese año la había pasado en Princeton, en el Instituto de Estudios Avanzados, y la segunda mitad la pasó en California. Carl Helmholz, jefe del departamento en ese momento, le ofreció un puesto de catedrático, y Chew aceptó. Su segunda —y definitiva— etapa en Berkeley comenzó en el curso 1957/58.

5. El regreso a Berkeley – Madurez como físico teórico

Al regresar a Berkeley, Chew se convirtió en el líder de los físicos teóricos. Las tensiones políticas se habían calmado, pero la mayoría de los veteranos se habían marchado y no había vuelto, por lo que nuestro protagonista quedaba como claro líder.

Con varios proyectos en mente, asistió a una conferencia de Stanley Mandelstam en Washington D.C. Se interesó inmediatamente por sus ideas, que consideró muy valiosas en vistas a los planes que tenía para Berkeley, y consiguió que le concedieran un *fellowship* post-doctoral en su universidad. La colaboración entre los dos fue muy importante para todo lo que estaba por venir.

5.1. La labor pedagógica de Chew

Chew comenzó a asesorar a un grupo cada vez mayor de estudiantes graduados, un número poco habitual. Al decidir ayudar a sus alumnos de esta forma, siguió un patrón similar al de Oppenheimer en Berkeley en los años treinta. Pero, mientras que Oppenheimer intimidaba a los estudiantes —y a sus propios colegas— con su famosa "lengua afilada", Chew era un asesor positivo y estimulante, y trataba a los alumnos como iguales, hasta el punto de que en ciertas ocasiones se unía al grupo de estudiantes en comidas informales celebradas en la cafetería del Radiation Laboratory (Kaiser, 2002: 252).

Chew formó parte del grupo de físicos que rompió los moldes en el ámbito pedagógico. Convirtió sus reuniones en no-exclusivas, destinadas más bien a los novatos que a los miembros de una élite escogida. Kaiser afirma que llevó el modelo pedagógico de Oppenheimer un paso más allá al organizar los denominados "seminarios secretos": se reunían semanalmente para darse charlas, incluso en su propia casa. Los llamaban

“secretos” porque sólo podían acudir los estudiantes, no miembros de la facultad. El objetivo era que los alumnos no se asustaran de participar en los debates con sus compañeros y con los profesores.

5.2. El origen de la “democracia nuclear”

A la vez que llevaba a cabo su proyecto pedagógico —y mostrando un claro paralelismo entre su forma de enseñar y sus ideas en Física, por un lado, y su oposición a la represión política e ideológica, por otro—, Chew comenzó a desarrollar la teoría de la “democracia nuclear”, con la que enseñó a sus estudiantes a tratar a todas las partículas atómicas por igual, de la misma forma que él trataba a los estudiantes en igualdad de condiciones. Antes de la II Guerra Mundial existía un puñado de partículas elementales: electrón, protón, neutrón y neutrino. Con la guerra surgió la Gran Ciencia, y con ella los grandes adelantos tecnológicos —el ciclotrón entre ellos, el primer acelerador de partículas—, que conllevaron la aparición de muchas nuevas partículas (el pion, el muon, el kaón y el gluon, todos pertenecientes a la categoría de los hadrones, que por definición son las partículas sensibles a la interacción fuerte). Con ello, la antigua creencia en el estatus de elemental de algunas de ellas fue decayendo. Sin duda, esto influyó en el concepto de “democracia nuclear” que defendió Chew. Ninguna de ellas parecía más importante que las otras; ninguna parecía más fundamental que las demás, lo que parecía poner en cuestión la diferencia entre partículas elementales y compuestas, y en esto consistió la idea central de la democracia nuclear.

Pero aún había otro sentido para la expresión. Se trataba de una democracia entre practicantes: los físicos que nunca habían estudiado teorías de campos podían entrar en el juego, y los experimentalistas también podían contribuir con ideas importantes, del mismo

modo que los teóricos. La democracia nuclear supuso una revolución en la concepción que se tenía de la estructura del átomo, y en cierto modo fue una consecuencia lógica de los últimos descubrimientos en este ámbito, como enseguida veremos. En Chew estuvo unida a la teoría de la matriz de dispersión (S-matrix), ya enunciada por otros físicos anteriores a él, por lo que estamos obligados a volver la vista atrás para explicar el origen y sentido de esta teoría.

5.3. La historia de la teoría S-matrix

Una matriz de dispersión (en inglés *scattering matrix*, o *S-matrix*, como se la suele llamar) es un formalismo utilizado para calcular el resultado de un problema de dispersión entre partículas cuánticas que interactúan; por ejemplo, cuando se bombardea un átomo con partículas α. No vamos a entrar en detalles matemáticos, que serían excesivamente técnicos y que nos apartarían de lo esencial de esta exposición. Lo importante en nuestro caso es que muchos problemas de dispersión de partículas subatómicas no pueden resolverse de forma precisa, y el procedimiento de la S-matrix permite realizar los cálculos cuando no es posible un tratamiento exacto de la cuestión. Este método es parecido a una caja negra: se conoce lo que entra y lo que sale, se conoce cómo quedan las partículas después de la interacción, pero no puede observarse lo que sucede entre el estado inicial y el final. La S-matrix representa el proceso intermedio, pero no se necesita entender el mecanismo del proceso de dispersión en sí mismo, y al final obtenemos un resumen eficaz de la interacción de las partículas. La S-matrix es, por tanto, una colección de probabilidades de todas las reacciones posibles relacionadas con las partículas.

El programa S-matrix fue un proyecto principalmente americano, aunque en ciertos lugares de Europa surgieran algunos desarrollos; por ejemplo, en Cambridge (Cfr. Cushing,

1990). Como veremos, la mayor actividad del programa se centró en torno a Geoffrey Chew y a sus colaboradores de Berkeley. Él fue el mayor exponente del bootstrap —una forma de la teoría S-matrix que también explicaremos—, pero no fue el creador de esta última.

5.3.1. La antigua S-matrix de Heisenberg

John Wheeler, en el contexto de una descripción teórica de la dispersión de núcleos de luz, fue quien introdujo el concepto de la matriz de dispersión (Cfr. Wheeler, 1937). Su motivación parecía ser la física nuclear, y esa matriz era una herramienta para ese objetivo. Wheeler trabajó posteriormente en el Proyecto Manhattan y en el desarrollo de la bomba de hidrógeno.

Aparentemente sin conocer el trabajo de Wheeler, Heisenberg introdujo, por medio de varios artículos publicados entre 1943 y 1946, el concepto de matriz de dispersión como procedimiento para tratar la interacción electromagnética (Cfr. Heisenberg, 1943, 1946). La idea era que la S-matrix podía representar los resultados de todo lo que tomaba parte en la interacción, ofreciendo un resumen eficaz de la interacción de partículas sin importar el proceso intermedio. Su intento por establecer una teoría sobre cantidades observables era la vuelta a una idea que había resultado útil en su primera formulación de la mecánica matricial. Si había funcionado una vez, no había nada que impidiera probar de nuevo.

En esos artículos publicados entre los años 43 y 46, lo que Heisenberg propuso era una alternativa a la teoría cuántica de campos (QFT = “Quantum Field Theory”), un programa cuya entidad central era una matriz a la que puso el prefijo “S” de “scattering” (“dispersión”). Hemos dicho que Wheeler ya había introducido el concepto de matriz de dispersión unos años antes, si bien parece que el desarrollo de Heisenberg fue

independiente del de Wheeler, y que no llegó a conocer este último. No obstante, Heisenberg indica —en una nota a pie de página— que el físico italiano Gian Carlo Wick le había hablado de un artículo de Gregory Breit sobre el uso de la matriz de dispersión. Se trataba, casi con toda seguridad, de una referencia a un trabajo que apareció el 15 de diciembre de 1940, en *The Physical Review*, basado a su vez en el trabajo de Wheeler que hemos citado. Heisenberg agradeció a Wick la información, pero siempre ha asegurado que no leyó el trabajo de Breit (*The Physical Review* no llegaba a Alemania durante la guerra), por lo que es probable que no conociera las ideas de Wheeler sobre la matriz de dispersión. En cambio, Cushing afirma que Heisenberg debió —como mínimo— ver el artículo de Wheeler, aunque no hubiera prestado atención al contenido. En cualquier caso, dejando a un lado estas discusiones eruditas y un tanto bizantinas, Heisenberg fue quien sacó a la luz el concepto de S-matrix a todos los efectos, lo cual constituye una aportación más a las muchas que hizo a la física moderna (Cushing, 1990: 36-37).

Sin embargo, Heisenberg se olvidó por completo de este programa, dejó de prestarle atención y volvió a la teoría cuántica de campos (QFT) a finales de los 40, seguramente porque el proceso de “renormalización” que explicaremos a continuación le parecía ofrecer buenas soluciones, y en cambio las matrices se le mostraban excesivamente complejas. Por tanto, abandonó la teoría S-matrix debido a las dificultades que encontró, pero la consideró un camino posible para el futuro, especialmente para solucionar los problemas que ya planteaba la teoría cuántica de campos. La consecuencia fue que el programa S-matrix se hizo popular gracias a otros, no a Heisenberg. En cualquier caso, ni su programa S-matrix dejado a medias, ni otros desarrollos que emprendió posteriormente, fueron bien recibidos por la mayoría de físicos teóricos. Sus intentos de fundar nuevas teorías no atrajeron ya el interés que el alemán tuvo para el mundo de la ciencia en las décadas de los veinte y los

treinta, debido a su participación en el intento de fabricación de la bomba atómica y por haber permanecido fiel a su país durante la guerra, lo cual sería otro buen ejemplo de la influencia de la política sobre los proyectos científicos.

En consecuencia, las primeras investigaciones de Chew sobre el tema no tuvieron ninguna conexión con la S-matrix de Heisenberg, aunque la había conocido —mientras estudiaba con Fermi— gracias a unas conferencias de Gregor Wentzel dadas en la Universidad de Chicago (Cushing, 1990: 28). También Goldberger y Murray Gell-Mann han manifestado que el viejo programa de Heisenberg no tuvo influencia directa en su interés por la teoría S-matrix (Cushing, 1990: 28). Fue algún tiempo después cuando se fijaron en la relevancia de lo desarrollado por Heisenberg, pero ya era tarde para que les influyera. John Polkinghorne defiende la misma tesis al respecto:

> Heisenberg trabajó en la teoría S-matrix en los años cuarenta (…) Sin embargo, la teoría comenzó a desarrollarse realmente a finales de los cincuenta, principalmente como resultado de la frustración por la falta de idoneidad al aplicar la teoría del campo cuántico a las interacciones fuertes (…) Aparte del primer artículo sobre el tema de Heisenberg, gran parte del impulso a esta labor ha procedido de Chew" (Cfr. Polkinghorne, 1966).

La importancia del antiguo programa S-matrix de Wheeler y Heisenberg para desarrollos posteriores consistió en poner de manifiesto una serie de cuestiones, entre ellas los problemas que presentaba la cuántica en algunos ámbitos. El trabajo de otros autores en esos problemas generó una serie de artículos que en último término llevaron a la teoría S-

matrix de Chew y sus colaboradores, como enseguida veremos. Por tanto, la influencia de Heisenberg fue solamente indirecta.

5.3.2. La renormalización y el surgimiento de la QED

En cuanto surgió la mecánica cuántica con los trabajos de Dirac, Pauli, Born y, sobre todo, Schrödinger y Heisenberg, bajo la tutela del gran iniciador de la nueva tendencia, Niels Bohr, los principales representantes de esta nueva forma de hacer ciencia fueron conscientes de que había que unirla con la relatividad de Einstein, tener en cuenta sus principios, dentro de la búsqueda más general de lo que hasta nuestros días se ha llamado "la gran unificación", para que la nueva física integre en una sola teoría todos los fenómenos del universos, desde los más grandes hasta los más pequeños. Esa unión entre cuántica y relatividad fue el objetivo de la teoría cuántica de campos, en la que trabajaron desde finales de los años 20 Pascual Jordan, Wolfgang Pauli y Paul Dirac, principalmente. Éstos, junto con Eugene Wigner, muy pronto consiguieron resultados, pero también desde casi el principio se dieron cuenta de que aparecían graves problemas teóricos, entre ellos numerosos cálculos con resultado infinito, que no tenían sentido. En una teoría que combina la cuántica y la relatividad no es posible especificar con precisión la posición de las partículas, y si se intenta hacerlo —como sucede en la teoría cuántica de campos— surgen inconsistencias matemáticas.

Estos problemas se abordaron seriamente durante la década de los cuarenta por Freeman Dyson, Julian Schwinger, Sinichiro Tomonaga y Richard Feynman, entre otros, en el llamado proceso de "renormalización", que llegó a su fin con la creación de la electrodinámica cuántica (QED = "Quantum Electrodinamycs"). Los tres últimos recibieron el Premio Nobel de Física mucho después —año 1965—, y de ellos el más

popular ha sido, sin duda, Feynman, no sólo por su atractiva personalidad, sino por la creación de los famosos “diagramas de Feynman”, cuyo prestigio rebasó el de limitarse a aplicarlos a la teoría de campos, ya que se convirtieron en una herramienta muy útil para otras aplicaciones. Esta renormalización fue ampliamente aceptada por los teóricos, y la posible solución ofrecida por la S-matrix de Heisenberg pasó totalmente desapercibida ante el éxito de los autores citados en la solución de los infinitos que aparecían en los cálculos de la teoría cuántica de campos.

5.3.3. El nacimiento de la teoría S-matrix moderna

A pesar de que la comunidad de físicos aceptó el proceso de renormalización que hemos descrito, durante la década de los cincuenta se hizo evidente que esta solución no era totalmente satisfactoria. La renormalización había salvado las apariencias temporalmente, pero los cálculos se hacían muy largos y artificiosos. Había que simplificar. Algunos se animaron a aplicar la navaja de Occam y rechazar la teoría cuántica de campos, y en su lugar limitarse a un proyecto más modesto, consistente en calcular sólo lo que se podía observar en el experimento de dispersión, la información contenida en las correlaciones entre los estados inicial y final de las partículas. También daba la impresión de que la renormalización era un simple parche precisamente para salvar las apariencias. Era necesario algo más que una hipótesis *ad hoc* para salvar realmente los fenómenos electromagnéticos.

Además, como ya hemos explicado, los últimos descubrimientos parecían indicar que todas las partículas parecían tener el mismo estatus (democracia nuclear), y en cambio las teorías de campos siempre han diferenciado entre partículas elementales y partículas

compuestas. Había sido relativamente fácil aceptar un puñado de partículas como fundamentales, pero no fue fácil mantener esa posición cuando la lista creció:

> La respuesta de los teóricos manifestó una especie de esquizofrenia social. Un grupo aceptó el programa de la S-matrix y el bootstrap, que afirmaba que no hay partículas realmente elementales. Otro grupo afirmó que había partículas elementales, pero que no eran las partículas observadas en los experimentos: eran los quarks, de los cuales están construidos todos los hadrones. Estas posiciones rivales eran llamadas "democracia nuclear" y "aristocracia nuclear", respectivamente; en la primera todas las partículas eran iguales, y en la última los quarks tenían una posición ontológica privilegiada. Sólo en la década de los setenta, con el surgimiento de la nueva física, el programa del quark eclipsó al del bootstrap. (Pickering, 1984: 33).

Por otro lado, la teoría cuántica de campos no podía explicar de ninguna manera las interacciones fuertes, ni siquiera con la ayuda de la renormalización. Esto trajo una sensación de crisis a la física de altas energías en los años 50. Por ello, algunos teóricos comenzaron a buscar métodos alternativos de entender la interacción fuerte. Todos estos factores llevaron a un descenso en el interés por las teorías de campos (QFT y QED = "Quantum Field Theory" y "Quantum Electrodynamic") en los años 50. Donde no fallaban de forma absoluta (sus problemas para explicar las interacciones fuertes), parecía repleta de trucos matemáticos (poco estética y llena de arbitrariedades). Esto condujo a una falta de fe en que las teorías de campos aportaran respuesta a las cuestiones que necesitaban solución inmediata, y los defensores del programa S-matrix se aprovecharon de estos problemas.

Con unos teóricos tan preocupados por la experimentación y por dar respuestas, estos problemas llevaron a buscar cualquier otra teoría que pudiera aportar una descripción de los hechos. Y la S-matrix ofrecía tal descripción. Podía superar los problemas especificando los momentos de las partículas y siendo lo suficientemente vaga en cuanto al lugar en que ocurre la reacción.

Ya hemos dicho que la teoría ideada en su origen por Heisenberg se había abandonado casi desde sus mismos inicios, pero la matriz de dispersión era un procedimiento de cálculo bien conocido dentro de la QED, así que en cierto modo era una herramienta que permanecía disponible.

> El sentido de crisis en la QFT se hizo más profundo en los cincuenta (…) Landau y sus colaboradores afirmaron a mediados de los cincuenta que las teoría locales parecían ofrecer solución sólo para las partículas que no interactúan (…) Landau tomó estas dificultades conceptuales como una prueba de la falta de idoneidad de la QFT como marco de investigación (…) Una nueva tendencia (…) fue orquestada por Geoffrey Chew y sus colaboradores en forma de esquema muy abstracto, la teoría de la S-matrix, la cual, en los cincuenta y los sesenta, llegó a ser un programa importante de investigación en el campo de las interacciones fuertes (Yu Cao, 1998: 220).

Murray Gell-Mann, en 1956, llegó a la conclusión de que la teoría cuántica de campos no podía explicar los fenómenos de alta energía, delineó un programa y aludió al programa S-matrix de Heisenberg con el fin de recuperarlo. Diseñó lo que podría ser un futuro

programa S-matrix, que para él no era una teoría opuesta a la QFT, sino sólo un enfoque alternativo.

> Una vez más, desde mediados a finales de los cincuenta, la teoría cuántica de campos encontró serias dificultades con las interacciones fuertes. Fue entonces cuando los teóricos se pasaron a una derivación del programa S-matrix de Heisenberg, a la teoría de la dispersión (…) Desde comienzos a mediados de los sesenta, había surgido un nuevo programa S-matrix como candidato para una teoría fundamental de las partículas de interacción fuerte (…) Esta teoría del bootstrap, que condujo a una perspectiva filosófica potencialmente importante, surgió directamente de unas matemáticas muy complejas, no de los datos experimentales ni de una filosofía elevada. (Cushing, 1990: 185).

La teoría S-matrix nació en un período en el que los físicos de partículas estaban reformulando intensamente todos sus principios y concepto. Había un sentimiento colectivo de que la teoría de campos no podía utilizarse para describir todas las interacciones fuertes, o bien que debía ser formulada en un marco distinto, más abstracto, para ser aplicable (Cfr. White, 2007). De este modo, la teoría S-matrix que el mundo de la física vio surgir a comienzos de los sesenta nació de las entrañas mismas de la teoría cuántica de campos, a partir de sus problemas conceptuales.

5.3.3.1 El enfoque bootstrap

Dentro del marco de la S-matrix, Chew desarrolló el denominado “enfoque bootstrap”. El término “bootstrap” hace referencia a las lengüetas que tiene una bota y a la paradójica

acción de poder levantarse uno mismo tirando de ellas hacia arriba. Por extensión, un proceso bootstrap es un proceso autosostenido o autoconsistente, que se alimenta a sí mismo sin ayuda externa. La teoría S-matrix podía describir la estructura de las partículas y las fuerzas por las que se influyen mutuamente, de una manera dinámica en la que cada partícula forma parte de una red inseparable de reacciones. En cuanto al enfoque bootstrap, consiste en enfatizar que las partículas subatómicas mantienen su cohesión, su estructura y su misma existencia gracias a las fuerzas que surgen de la acción entre ellas mismas. El concepto clave del bootstrap es la consistencia, la idea de que las leyes de la naturaleza son controladas por la consistencia y que no son arbitrarias. Intenta eliminar las arbitrariedades en lo posible. Chew reconoce que, debido a las limitaciones humanas, siempre tenemos que aceptar un conjunto de ideas. Pero, aparte de estas ideas, que son aceptadas provisionalmente como verdaderas, no se debe aceptar nada arbitrario en la teoría y todo debe derivarse a partir de la autoconsistencia.

Además, al añadir al sistema general la idea de democracia nuclear y rechazar la diferencia entre partículas elementales y partículas compuestas, Chew afirmará que cada partícula es el resultado de la acción de ella misma en relación con todas las demás, es decir, se trataba de llevar al límite el concepto de autoconsistencia. Todos los ingredientes para el establecimiento de una nueva teoría S-matrix existían ya en los cuarenta, y a finales de los cincuenta se aceptaban estas proposiciones sobre los hadrones (las partículas sensibles a la interacción fuerte):

1. Hay una democracia de hadrones: todos tienen un estatus equivalente.
2. Los hadrones están formados por otros hadrones, a su vez sostenidos por fuerzas obtenidas en el intercambio de hadrones.

3. Los hadrones son autogenerados por un mecanismo de bootstrap S-matrix que determina todas sus propiedades (Cfr. Chew, 1985).

En un escrito bastante posterior (Cfr. Chew, 1985) explicaba Chew que la idea de la democracia de hadrones (que todos los hadrones son compuestos y ninguno es fundamental) no es lo mismo que la idea de que todas las partículas físicamente observables corresponden a singularidades de una matriz de dispersión analítica. Es decir, la democracia nuclear no es sinónimo de la teoría S-matrix. Sin embargo, en el programa de Chew fueron unidas. De hecho, él mismo reconoce que las historias de estas dos ideas están entrelazadas.

En un momento en que parecía que ninguna partícula era más fundamental que las demás, el enfoque bootstrap defendía que las interacciones tienen que explicarse a partir de su autoconsistencia. No hay un ensamblaje de entidades en las que las fundamentales son la base de las compuestas, sino que el todo está considerado como una especie de red dinámica de sucesos interrelacionados. Dentro de esta red, ninguna parte ni ninguna propiedad es más fundamental que otra. Todas se influyen mutuamente, se definen en función de las relaciones entre ellas, y es la consistencia de sus interrelaciones lo que determina la estructura de todo el entramado. Por tanto, el bootstrap niega la existencia de constituyentes fundamentales de la materia y no acepta ningún tipo de entidades fundamentales, ni siquiera leyes o principios. A veces, la representación de las partículas propia del bootstrap se resume con la provocativa frase “toda partícula se compone de todas las demás partículas”, lo cual nos recuerda a la filosofía de Anaxágoras, y de hecho ha habido algunos autores que han desarrollado este parecido del bootstrap con las tesis del filósofo griego de la época de Pericles (Cfr. Harrison, 2006, Cfr. Muradian, 2008)

Esta afirmación no se refiere a que cada una contenga a las demás en un sentido estático, sino que cada partícula ayuda a generar a otras partículas, que a su vez la generan a ella.

Todo el conjunto se genera a sí mismo mediante su autoconsistencia (Capra, 1992: 336). En resumen, frente a las inconsistencias de las teorías de campos, surgió una nueva propuesta en la que la autoconsistencia era la clave.

Así nació la teoría bootstrap, que aportaba un programa independiente respecto a la teoría del campo cuántico, por lo menos a nivel de cálculo. Algunos de los que adoptaron este nuevo enfoque consideraron al programa bootstrap como una teoría anti-campos; otros lo consideraron un enfoque complementario que ofrecía un procedimiento distinto de cálculo, pero no una teoría independiente. Para éstos, la S-matrix era una herramienta, por lo que en realidad no abandonaron las teorías de campos. En cambio, para Chew y sus colaboradores, constituyó una teoría no sólo independiente, sino opuesta a la QFT: "La S-matrix fue fundada dentro de la teoría del campo cuántico, pero se independizó de ella y se consideraba, en la formulación del bootstrap, como un enfoque explícitamente contrario a la teoría del campo" (Pickering, 1984: 46).

El líder de ese paso de la teoría cuántica de campos al enfoque S-matrix/bootstrap fue Chew, quien, además su labor puramente científica, aportó algunos argumentos filosóficos para este cambio de rumbo: rechazo de la arbitrariedad de considerar elementales algunas partículas y otras no, autoconsistencia del sistema tomado como un todo y democracia nuclear.

> Discutió apasionadamente contra el paradigma atomista de la QFT y rechazó la idea de partículas elementales designadas arbitrariamente (…) La posición teórica anti-campo de Chew estaba basada principalmente en dos hipótesis: democracia nuclear y bootstrap, y máxima analiticidad (…) Chew convirtió los principios de autoconsistencia y unicidad en la base filosófica de la S-matrix. Chew influyó mucho en la física de hadrones en

> la primera mitad de los sesenta. Su posición filosófica, aunque considerada dogmática y religiosa incluso por algunos de sus colaboradores cercanos (por ejemplo Gell-Mann y Low), fue respaldada por algunos resultados físicos bien confirmados que él y sus colaboradores habían obtenido en el marco de la S-matrix. (Yu Cao, 1998: 225).

Dice el mismo Chew sobre la filosofía contenida en el enfoque bootstrap:

> El carácter revolucionario de la democracia de partículas se aprecia mejor al compararla con la estructura aristocrática de la física atómica, tal como afirma la electrodinámica cuántica (…) El concepto de bootstrap está muy unido a la noción de una democracia gobernada por la dinámica (…) Cada partícula ayuda a generar otras, que a su vez dan lugar a la primera (Cfr. Chew, 1964).

4.3.3.2. El acta de nacimiento de la teoría S-matrix moderna

En cuanto a los pasos concretos dados por Chew en la creación de su nuevo programa, en 1958 ofreció una conferencia en el CERN, y por aquel entonces ya estaba en el aire una teoría analítica de la S-matrix. Cuando volvió al CERN en 1959, ya existía un programa S-matrix en germen en Berkeley. En la conferencia de Kiev de 1959, Lev Landau elogió a Chew el importante descubrimiento que él y Low habían hecho (el modelo Chew-Low, aún dentro de las teorías de campo). Landau condenó las teorías de campos en esa conferencia, y dio la bienvenida a un enfoque independiente basado en la teoría de la dispersión. Gell-Mann no vio con buenos ojos el dogmatismo que mostraba Landau. En cambio, para los

defensores de la S-matrix (Chew y Polkinghorne, que también estuvo presente), la charla de Landau en Kiev fue excitante.

Como hemos mencionado, a finales de los cincuenta ya estaba en el aire una teoría de estas características, pero todo empezó de forma explícita en la famosa Conferencia de La Jolla sobre interacciones fuertes y débiles, que se celebró en junio de 1961. A principios de los años 60, Chew ya había descartado el enfoque predominante en la física de partículas, la teoría cuántica de campos, afirmando que ese marco teórico no ofrecía ayuda para entender las interacciones nucleares fuertes. Chew estaba frustrado con la teoría del campo porque parecía implicar que los teóricos pasaran por alto problemas interesantes que realmente merecían la pena. Afirma que, antes de empezar conscientemente con la S-matrix, ya la practicaba, pero al principio incluso él pensaba que entraba dentro del marco de la teoría del campo cuántico. Se sentía muy incómodo con esto, pero no sabía qué hacer, y recuerda que tomó la decisión de llamar S-matrix a la teoría y romper con la QFT cuando tuvo que decidir el título para un libro que le habían pedido que escribiera, según cuenta en una entrevista (Cfr. Gordon, 1997).

En la Conferencia de La Jolla, Chew aseguró que la teoría cuántica de campos era estéril como un viejo soldado en lo que respecta a las interacciones fuertes, y que por tanto estaba destinada, no a morir, sino a irse apagando lentamente. En su lugar, deseaba construir un nuevo programa basado en la matriz de dispersión o S-matrix, la cual codificaría las relaciones matemáticas entre las partículas entrantes y las salientes desechando muchos de los presupuestos y técnicas de la QFT. Fue la combinación de la teoría formal de la dispersión de Goldberger y Gell-Mann (Cfr. Gell-Mann, Goldberger, 1953) con el programa de Chew y sus colaboradores lo que dio lugar a un nuevo marco teórico que se esperaba que aportara una alternativa a la tradicional teoría cuántica de campos. Como ya

hemos mencionado, el atractivo de este nuevo enfoque venía acompañado por los problemas que conllevaba la QFT. Es importante insistir en que en el trasfondo de este desarrollo había toda una nueva filosofía, pero que nació de planteamientos altamente técnicos, no de un nuevo modelo de teoría física.

Como hemos mencionado, fue en el año 1961 cuando Chew decidió "salir del armario", haciendo su declaración de intenciones en la conferencia de La Jolla.

> No debe haber malentendidos sobre la posición que estoy defendiendo. Permítanme afirmar que creo que la asociación convencional de los campos con las partículas de interacción fuerte ha quedado obsoleta (…) Aún tengo que ver algún aspecto de las interacciones fuertes que quede aclarado con el concepto de campo. Todos los éxitos logrados en este ámbito se basan en la unicidad de la S-matrix y en los principios de simetría. No quiero afirmar (como hace Landau) que la teoría de campo convencional sea errónea, pero sí que es estéril en lo relativo a las interacciones fuertes, y que, como un viejo soldado, está destinada, no a morir, sino simplemente a retirarse (…) Creo que la asociación habitual de los campos con las partículas con interacciones fuertes es vacía (…) No conozco ningún aspecto de las interacciones fuertes que quede aclarado con el concepto de campo. Mi inclinación personal en este momento es volver al antiguo principio de "falta de razón suficiente". La S-matrix no tiene singularidades excepto donde es absolutamente necesario para satisfacer el requisito de unicidad. No hay razón para que tenga otras (…) Estoy convencido de que ninguna partícula es elemental (Cfr. Chew en Cushing, 1990: 142-145).

Por tanto, fue en la conferencia de La Jolla donde Chew rompió todos los lazos con la teoría de campos y declaró públicamente su búsqueda de un programa S-matrix autónomo. En esa conferencia sentenció la muerte de la teoría de campos. La idea más novedosa e interesante de Chew era la de la democracia nuclear (todas las partículas atómicas deben ser tratadas "democráticamente"), que ya hemos comentado y que en este momento incluye dentro del enfoque boostrap. El planteamiento tradicional de la teoría cuántica establecía una serie de partículas fundamentales o elementales que actuaban como bloques básicos de los cuales se componen las partículas compuestas. El enfoque bootstrap ofrecía a Chew la base teórica para la democracia nuclear: las partículas elementales no merecen un tratamiento especial, distinto de las compuestas, puesto que todas surgen de la interacción de ellas mismas con todas las demás. Chew y sus colaboradores negaban la división tradicional entre partículas elementales y compuestas, y en su lugar describían a cada partícula como una especie de compuesto de todas las demás, no siendo ninguna más fundamental o especial que las demás. Por eso concluía que "todas las partículas deberían recibir igual trato ante la ley." Contrastaba claramente la estructura aristocrática de la física atómica gobernada por la electrodinámica cuántica con el carácter revolucionario de la democracia de partículas. Según Andrew Pickering, "en el núcleo del programa S-matrix, especialmente en la formulación del bootstrap, estaba la creencia de que no había entidades fundamentales. La sugerencia de que todos los hadrones estaban formados por quarks era un anatema para esta teoría" (Pickering, 1984: 90).

Una vez pasado el primer momento de entusiasmo, llegó el momento de la reflexión y de repensar las cuestiones. Chew comentaba en un escrito de 1962 la charla de La Jolla y la ruptura explícita con la QFT señalando la importancia del nuevo período que se abría para

la Física y agradeciendo las contribuciones de algunos de sus colegas a la teoría, siempre con la esperanza de atraerlos para su programa bootstrap radical:

> Creo que ha tenido lugar una ruptura importante y que en un periodo de tiempo relativamente breve vamos a alcanzar una comprensión de las interacciones fuertes que yo no esperaba ver durante mi vida (…) Presento mi visión de la situación actual exclusivamente en términos de la S-matrix porque no hay otro marco mejor para las interacciones fuertes (…) Debo decir que mi conocimiento de este tema lo he logrado gracias a la colaboración con tres grandes expertos en teoría de campos, Goldberger, Low y Mandelstam. Ellos han tenido un importante papel en el desarrollo de la teoría que describo, aunque el lenguaje de mi descripción les repugne (…) Uno de los aspectos más atractivos de la teoría S-matrix es que el trato con los experimentos es posible a muchos niveles distintos, y no requiere una solución completa de las ecuaciones dinámicas. En realidad nunca tendremos una solución completa; sería demasiado complicado porque todas las partículas tendrían que ser consideradas simultáneamente (Cfr. Chew, 1962).

En el mismo escrito reconoce uno de los defectos de su teoría, que luego será una de las razones para su caída en desgracia: la dificultad de tratar con el electromagnetismo y las interacciones débiles. La S-matrix es una teoría de las interacciones fuertes, y extenderla a las otras fuerzas de la naturaleza parecía un asunto demasiado complejo. También señala otro de los problemas del programa bootstrap: poder ofrecer una solución completa a las cuestiones físicas es imposible porque tendríamos que considerar todas las partículas a la

vez. Al partir de la base de que todo se encuentra interconectado, una explicación global implicaría tener todo en cuenta, lo cual es imposible.

En estos primeros escritos y exposiciones en público de su teoría, Chew intentó encontrar un vocabulario que apoyara la ruptura conceptual que deseaba lograr respecto a la teoría cuántica de campos, pero encontrar los términos apropiados no era tarea fácil. Reconoció haber sentido frustrado con la terminología convencional de la Física. En consecuencia, el lenguaje que iba a idear para expresar sus nuevos conceptos tenía que proceder de un sitio distinto al vocabulario de sus colegas. Reflexionando sobre el tema, Chew se reía de los "fundamentalistas" diciendo que su enfoque aristocrático de las partículas elementales no podía proporcionar un marco adecuado para describir las interacciones fuertes. Igual que en su artículo sobre la polémica del *loyalty oath*, reservaba el término "fundamentalista" para los colegas que defendían una postura contraria a sus ideales democráticos.

Chew llegó a mostrar un optimismo extremo y afirmó —hablando sobre las paradojas de la cuántica— que los principios de la mecánica —tal como se habían establecido— no eran satisfactorios, y que el denominado "programa bootstrap" daría como resultado un estado de cosas diferente. Creía que el enfoque bootstrap iba a dar una explicación simultánea del espacio-tiempo, de la mecánica cuántica y del significado de la realidad, todo a la vez. En conclusión, estaban puestas las bases para una renovación que podía llegar a significar un cambio de paradigma, y Geoffrey Chew, con su carácter inconformista, iba a ser el director.

Muchos de los más acérrimos defensores de la QFT abrazaron —al menos parcialmente— la teoría S-matrix; por ejemplo, Gell-Mann, quien unos años más tarde sería el creador del concepto de quark. Buena muestra de la cooperación de Gell-Mann y de su actitud amistosa hacia el programa S-matrix es su colaboración con Chew, por ejemplo en

un artículo conjunto de Gell-Mann, Chew y Arthur Rosenfeld —"Partículas con interacción fuerte", de 1964—, publicado en 1984 en castellano en la versión española de *Scientific American* en 1984. De hecho, Gell-Mann fue el creador del término "democracia nuclear", tal como reconoce el propio Chew:

> El concepto de democracia entre las partículas atómicas ha recibido estímulo por parte de los desarrollos experimentales y teóricos. La expresión "democracia nuclear", sugerida por Gell-Mann, describe la conjetura de que todas las partículas de interacción fuerte son compuestas (Chew, 1964: 105).

4.4. El apogeo del programa bootstrap de Chew

Dice Yehudah Freundlich que la ascendencia y ocaso de la hipótesis del bootstrap ofrece un fascinante episodio de la historia de la ciencia moderna, que tuvo un papel importante en el desarrollo de la teoría de las partículas elementales durante la década de los sesenta.

> La ascendencia y ocaso de la hipótesis del bootstrap puede considerarse como sostenida por dos pilares. Uno está formado por las nociones de autoconsistencia y democracia nuclear (…) Según la democracia nuclear, al menos en el dominio de las interacciones fuertes, ninguna partícula es más fundamental que otra (…) El otro pilar en el que se basa la hipótesis del bootstrap es el enfoque S-matrix (Cfr. Freundlich, 1980).

4.4.1. La utilización de los diagramas de Feynman

El programa de Chew no sólo partió de la teoría cuántica de campos, sino que también utilizó alguna de sus herramientas, como por ejemplo los diagramas de Feynman, creados por éste en su propuesta de renormalización. Poco después de que Feynman introdujera sus diagramas para la renormalización de la QFT, Chew comenzó a utilizarlos y a adaptarlos a aplicaciones muy distintas a las interacciones electromagnéticas. Por ejemplo, en sus conferencias de 1961 insistió en que muchos de los nuevos resultados de su programa se hacían con el lenguaje de los diagramas de Feynman.

Mientras los teóricos del campo habían enseñado durante una década que las líneas de los diagramas Feynman sólo podían representar partículas elementales, Chew descubrió que esta distinción entre partículas elementales y compuestas no se hallaba implícita en los diagramas. Las propiedades de elemental o compuesto podían intercambiar sus lugares con cada rotación de un diagrama Feynman.

Por tanto, Chew interpretación los diagramas de Feynman un paso más allá de lo que hicieron los otros físicos al proclamar que su contenido, significado y papel para calcular podía separarse enteramente del marco original de la teoría de campos en que se habían originado. De hecho, utilizó los diagramas de Feynman con su interpretación propia, con el objetivo de defender que todas las partículas deberían ser tratadas por igual. Por ejemplo, en sus conferencias de 1961 comentó que sus convicciones filosóficas generales le ayudaron a lograr su lectura “democrática” de los diagramas de Feynman, y por ello a reafirmarse en su conclusión de que ninguna partícula es realmente elemental (Cfr. Kaiser, 2005).

4.4.2. Testimonios del éxito de Geoffrey Chew

Son muchos los testimonios sobre la fuerza del programa bootstrap en los años sesenta. Chris Quigg, que cursó el doctorado en Berkeley a finales de los sesenta —se doctoró en 1970, bajo la dirección de John David Jackson— y fue después profesor de física teórica en el Fermilab, Illinois, dice que Berkeley era el hogar de la perspectiva contraria a las teorías de campos, en primer lugar, y a la cromodinámica cuántica y la hipótesis del quark, después: no existían constituyentes fundamentales, todas las partículas están compuestas unas de otras. En un escrito llegó a llamar a Berkeley la "madre iglesia del bootstrap" (Cfr. Quigg, 1997).

Steven Frautschi estudió y colaboró con Chew en la época de apogeo del programa, y fue profesor en el CalTech (California Institute of Technology). Cuenta en un artículo que Chew tenía un enfoque diferente, al que llamaba "bootstrap", en el que los intercambios entre las partículas aportaban las fuerzas de atracción que las mantenían unidas. Dice también que Chew era un buen líder de grupo y que tenía un nutrido grupo de estudiantes graduados y *postdocs*, con reuniones semanales en las que les informaba de lo que estaban logrando en conjunto. Fruto de su trabajo en aquel ambiente es su libro *Regge poles and S-matrix theory*, publicado en 1963, donde declara su apoyo a las tesis de la democracia nuclear (Frautschi, 1985: 44-47).

También John Schwarz —que fue profesor en el Caltech y uno de los creadores de la moderna teoría de cuerdas— estudió con Chew (se doctoró en Berkeley en 1966, bajo su dirección). Comenta en sus escritos que allí se intentaba desarrollar una teoría de las fuerzas nucleares fuertes, que el líder era Chew, y que se sintió muy influido por Chew (Cfr. Schwarz, 2007). De hecho, la teoría de cuerdas se basa en gran medida en el enfoque bootstrap.

También Ramamurti Shankar da su opinión sobre Chew y aquella época:

> Cuando me gradué, me pasé al campo de la Física, y muy pronto me puse a trabajar con Geoff Chew, en Berkeley, en física de partículas. En aquellos días (finales de los sesenta y comienzos de los setenta) la comunidad estaba dividida en dos facciones, la de los teóricos de la QFT y la de los defensores de la S-matrix, y Geoff era el sumo sacerdote de esta última (…) Geoff era un pensador original y un gran defensor de su punto de vista (…) Debo resaltar que Geoff no tenía nada en contra de la teoría de campos ni de sus defensores —admiraba mucho a Mandelstam, un teórico de la QFT de primera línea—, pero sí se mostraba intolerante hacia quien confundiera las ideas de la S-matrix con las de la teoría cuántica de campos (Cfr. Shankar, 1999).

Para terminar esta serie de testimonios sobre la época dorada del programa bootstrap, ofrecemos el de John Polkinghorne —profesor en Cambridge y sacerdote anglicano—, un creyente en la S-matrix por aquellos tiempos:

> En los últimos diez años se ha desarrollado un nuevo enfoque para las interacciones fuertes, que evita los defectos de la teoría cuántica de campos. En la S-matrix los campos son de escaso interés, excepto para calcular las amplitudes de transición para las interacciones. Estas amplitudes son los elementos de esta teoría. Este nuevo enfoque está relacionado con un estudio directo de la matriz de dispersión, sin introducir campos (…) Aparte del primer artículo sobre el tema escrito por Heisenberg, gran parte del impulso ha procedido de Chew (…) El

> típico experimento en física de partículas es un experimento de dispersión. Comenzamos con un estado inicial caracterizado por una partícula diana y una partícula proyectil. Cuando chocan tiene lugar una interacción. Nosotros no observamos los detalles de esto; todo lo que vemos es el final, que consiste en las partículas en el estado en que las deja la interacción (…) Lo que sucede entre el estado inicial y el final no puede observarse.

Polkinghorne añadía que algunos se animaron a aplicar la navaja de Occam, rechazar la teoría QFT y su física, y en su lugar limitarse a un intento más modesto, consistente en calcular sólo lo que se puede observar en un experimento de dispersión. De este modo, toda la información conocida se limitaba a las correlaciones entre los estados inicial y final de las partículas. Existe un método matemático de expresar esas correlaciones, con el que, a partir de la entrada correspondiente podemos calcular la probabilidad del estado final: la matriz de dispersión (S-matrix). No obstante lo dicho, Polkinghorne consideraba este enfoque como una buena herramienta, pero no como la teoría definitiva. Mostraba, por tanto, una visión pragmática que no todos aceptaron, llevados por el entusiasmo de considerar al programa bootstrap como la teoría perfecta:

> El desarrollo de la teoría S-matrix se caracterizó por cierto grado de lucha sectaria. Algunos de los que trabajamos en este tema éramos eclécticos, contentos de colaborar en una perspectiva que parecía prometedora. Pero no se puede decir lo mismo de algunos de nuestros colegas más veteranos e influyentes (…) En concreto, proclamaron la

> desaparición de la teoría cuántica de campos. Siempre hay una tendencia a ese tipo de dogmatismo (Cfr. Polkinghorne, 1966).

Es evidente que Polkinghone consideraba dogmáticos a Chew y sus colaboradores más cercanos, lo cual tiene sentido a la luz del ambiente cuasi-religioso que se formó en torno a él y a su programa.

4.4.3. La difusión del programa S-matrix

Chew, consciente de su gran triunfo en Berkeley, trabajó en una campaña de “wild merrymaking” (“fiesta a lo grande”) por todo el país y fuera de él, y casi todos se rindieron ante su carisma y su entusiasmo. Sus charlas eran muy esperadas, con un tono inspiracional y animador. Chew desarrolló su programa en una campaña con un tono casi religioso, evangelizador y revolucionario en espíritu”. Polkinghorne, por ejemplo, afirma que había un dicho en aquella época: “No hay más dios que Mandelstam, y Chew es su profeta” (Polkinghorne, 1985: 23).

Su entusiasmo pronto animó a sus estudiantes graduados y postdocs a participar como iguales en el programa S-matrix. Además, estaba disponible para todo el mundo casi todo el día y el ambiente era muy agradable para hacer Física. Frautschi recuerda que Chew organizaba reuniones semanales con su grupo de estudiantes y post-doctorales. Era un entorno inspirador para aprender el nuevo modo de hacer física y discutirla desde todos los puntos de vista, filosóficos y técnicos. Es evidente que esta proximidad con los estudiantes fue muy útil, como herramienta pedagógica, para la difusión de su programa boostrap.

La S-matrix tenía un atractivo especial para los teóricos jóvenes porque, incluso con sus atajos técnicos, la QFT se había ido complicando progresivamente en los años 50. Los

estudiantes requerían más y más entrenamiento antes de poder contribuir a la teoría, lo cual les frustraba. En cambio, la S-matrix ofrecía un programa en el que todos —incluso los que cursaban los estudios de grado— podían contribuir. La decepción que había supuesto la QFT llevó a los teóricos a sospechar que la respuesta a la interacción fuerte sería radicalmente diferente de la física que ellos conocían, que requeriría conceptos revolucionarios. Chew se aprovechó de todo esto creando un programa que implicaba y dependía de los estudiantes graduados. Dirigió a muchos de ellos, que siempre han reconocido su influencia sobre ellos y han agradecido la enorme cantidad de tiempo que les dedicó. Chew convirtió a esos jóvenes teóricos en el núcleo de su programa de investigación, y ellos siguieron su recomendación de no estudiar teoría cuántica de campos.

Muchas de las mentes más brillantes acudieron a Berkeley. Se organizaban los "seminarios secretos", una vez por semana. Sólo se sabía que eran cada jueves a la una de la tarde, pero nadie conocía el tema, que no se anunciaba anticipadamente, sino en el mismo momento de comenzar.

La ruptura de la S-matrix respecto a la QFT parece ser, en cierto modo, una ruptura de los teóricos del oeste del país con respecto a los del este, más anticuados. El hecho de estar separado, en términos geográficos, de teóricos como Low —en el MIT de Massachusetts— y Goldberger —en Princeton—, que seguían siendo fieles a la QFT o consideraban a la S-matrix sólo como un recurso para calcular, no como un programa independiente, puede haber tenido cierta importancia. El mismo Chew reconocía que, cuando estuvo más cerca de Low, sentía más dificultades para romper con la teoría de campos. Ciertamente, la ausencia de antiguos colegas puede haber contribuido al sentido revolucionario del programa S-matrix. Cuando regresó a Berkeley, Chew era el más veterano de los teóricos de allí. Cuando volvió, no quedaba ningún físico con autoridad, ya que los principales

teóricos se habían marchado por culpa de la situación política de unos años antes (la controversia del *loyalty oath*, que ya explicamos). Por ejemplo, Gian Carlo Wick se había ido, y el mismo Chew reconocía que, si hubiese estado, él probablemente no habría desarrollado su programa S-matrix.

David Gross, Premio Nobel en 2004, rememoró, en su discurso de recepción del premio, la época de los sesenta en Berkeley, cuando fue alumno de Chew. Asegura que aquel fue un período de supremacía experimental y de escasez teórica. Se daba gran importancia a la fenomenología, y sólo había pequeños islotes de avances teóricos. La QFT había caído en desgracia y la teoría S-matrix estaba en su apogeo. Gross comentó también en su discurso que, dado que la teoría cuántica de campos no podía aportar el marco teórico adecuado para las interacciones fuertes, emergió un enfoque radicalmente diferente, basado en la teoría S-matrix y el bootstrap, con principios de carácter más filosófico que científico, que consiguió algunos éxitos notables. Sin embargo, añade Gross, había ciertos inconvenientes en una teoría que "estaba basada en el principio de que no existía teoría, al menos en el sentido tradicional". Gross se doctoró en 1966, bajo la dirección de Chew, pero asegura que ya en ese año el programa bootstrap le había decepcionado. Según dice él mismo, se debió a una charla de Francis Low en Berkeley, en la que éste afirmó que el bootstrap era más una tautología que una teoría. Gross quedó marcado por esos comentarios y comenzó a buscar un esquema dinámico mejor (Cfr. Gross, 2004).

La fuerza del programa S-matrix fue tal que, hasta 1973, si se citaba la teoría cuántica de campos, era pidiendo disculpa; tan grande era la influencia de Chew. Incluso los creadores de la teoría del quark —según la cual los quarks son las partículas elementales de que están formadas las demás, excepto las que están compuestas por leptones— afirmaban en un

principio que no se trataba de entidades físicas reales, sino de recursos matemáticos, con el objetivo de no contradecir los principios del bootstrap y la democracia nuclear.

4.4.4. La aceptación de las teorías de Chew en otras universidades

Una cuestión distinta fue la difusión de las teorías de Chew fuera del grupo de Berkeley. Chew pronto se planteó la tarea de llevar su programa a los estudiantes más lejanos por medio de libros de texto. Dio muchas conferencias en cursos de verano y comenzó a publicar sus notas en ediciones de bajo coste. *S-matrix theory of strong interactions*, basado en esas conferencias y publicado en 1962, fue uno de los primeros libros de una nueva serie.

La publicación de recursos pedagógicos económicos, como notas de conferencias y reimpresiones, sirvió para ampliar la base de practicantes de la S-matrix. Esta agresiva campaña funcionó muy bien, y a comienzos de los 60 creció mucho el interés por sus teorías. Sus conferencias y artículos eran muy apreciados, y su influencia fue tan grande que durante aquellos años era difícil encontrar cursos sobre teoría cuántica de campos en algunas universidades de Estados Unidos. Ciertamente, la comunidad física reaccionó con rapidez ante los éxitos de Chew y su grupo de Berkeley. Por ejemplo, diez meses después de su “llamada a las armas” en La Jolla, Chew fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ciencias. Como ya hemos mencionado antes, era tan grande su fama que incluso sus opositores teóricos le trataban con sumo respeto; por ejemplo, Gell-Mann —en sus primeros artículos sobre la hipótesis de los quarks— no dejaba de insistir en que los quarks eran totalmente compatibles con el enfoque “democrático” de Chew.

4.4.4.1. La aceptación en Princeton

Sin embargo, las ideas de Chew no fueron acogidas por igual en todos los departamentos de física. En este sentido, el de Princeton fue muy diferente al de Berkeley. Aunque muchos teóricos de esa universidad investigaron algunos aspectos de la S-matrix, no compartieron el excesivo celo de Chew en su defensa de la democracia nuclear. Por ejemplo, Marvin Goldberger había sido compañero de estudios de Chew, y también había estado como *postdoc* en Berkeley a finales de la década de los cuarenta. Posteriormente —ya con Chew en Berkeley y Goldberger en Princeton— siguieron en contacto, y este último trabajó sobre aspectos de la S-matrix. Pero siempre los consideró aplicaciones técnicas de la QFT, complementarias a sus aspectos más teóricos; no consideraba diferentes a las dos teorías y pensaba que podían coexistir pacíficamente. Esta coexistencia pacífica llevó a una apreciación de la S-matrix diferente de la del grupo de Berkeley. La mayoría de los físicos de Princeton compartían este enfoque ecléctico; siguieron siendo fieles al lenguaje de las partículas elementales, y los estudiantes de esta universidad continuaron estudiando la teoría cuántica de campos como parte esencial de su formación.

Stephen Adler, del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, recuerda que, cuando Chew fue allí a dar una charla, les pareció demasiado mesiánico. Muchos de los colegas no pertenecientes a su entorno más cercano tachaban sus vigorosos pronunciamientos de proselitismo religioso. Por ejemplo, lo que molestaba a Sam Treiman del programa de Chew era la vehemencia con que enfrentaba su programa con la teoría cuántica de campos. En una conferencia ofrecida en 1962 en la Sociedad Física Americana, Treiman defendió el carácter hipotético del bootstrap, y aseguró que eso de que "cada partícula era levantada por sus propias lengüetas" (alusión irónica al uso del término "bootstrap" por parte del grupo de Chew) le era indiferente. Marvin Goldberger —de quien ya hemos hablado— y Richard Blakenbecler —otro profesor en Princeton— definieron el bootstrap en sentido fuerte como

una colección de interesantes especulaciones carentes de una base física y calificaron la oposición a la QFT como una actitud más religiosa que científica (Cfr. Kaiser, 2002).

En general, la renuncia a la teoría cuántica de campos preconizada por Chew no obtuvo amplia aceptación. La S-matrix fue muy utilizada por los teóricos de física de altas energías, pero pocos, aparte de Chew y su grupo, la consideraron como un programa distinto a la QFT. La mayoría, incluyendo muchos de sus colaboradores, la consideraron una herramienta dentro del marco de la teoría de campos, o bien a las dos teorías como enfoques complementarios para el mismo problema (Cfr. Gordon, 1998).

4.5. La relación de las ideas y el lenguaje de Chew con la oposición al macartismo

¿Estaban las ideas de Chew sobre física de partículas determinadas por las ideas culturales y políticas de la época del *loyalty oath* y el macartismo? Puede que, a un nivel personal, la frustración de Chew ante la paranoia anticomunista de los regentes de la Universidad de California a comienzos de los cincuenta contribuyera a reforzar una resistencia a la autoridad no cuestionada y un deseo de seguir alternativas no exploradas. Al fin y al cabo él mismo se autodenominaba “inconformista” (Cfr. Chew, 1950). De este modo, su reacción contra los “fundamentalistas” en Física —los partidarios de la diferencia entre partículas elementales y partículas compuestas— estaría relacionada con su reacción contra los “fundamentalistas” en política, y lo cierto es que la terminología y los conceptos se repiten una y otra vez.

Esta lucha de la revolucionaria democracia nuclear contra la conservadora teoría cuántica de campos podría inducirnos a una interpretación sociologista, máxime si tenemos en cuenta que las teorías de Chew tuvieron su apogeo a comienzos de los sesenta, y que coincidieron en el tiempo con el Free Speech Movement (Movimiento de Libertad de

Expresión). Con sus protestas, los estudiantes reclamaban el derecho a realizar actividades políticas dentro del campus y a la libertad académica y de expresión. Este fenómeno tuvo consecuencias muy importantes en Berkeley, similares a las de la polémica del juramento de lealtad diez años antes, y fue un ejemplo para todos los movimientos por las libertades civiles durante la década de los sesenta. Curiosamente, los paralelismos no terminan aquí. Del mismo modo que Richard Nixon forjó su carrera política a finales de los cuarenta y comienzos de los cincuenta destacando en su papel de inquisidor dentro del Comité de Actividades Antiamericanas, Ronald Reagan también ganó gran parte de su prestigio por su campaña para acabar con el "desorden" de Berkeley, y gracias a ella ganó las elecciones a gobernador de California en 1966, puesto en el que se mantuvo hasta que lanzó su campaña a presidente del país por el Partido Republicano.

Chew nunca afirmó que sus ideas e intereses sobre física de partículas estuvieran originadas por sus convicciones políticas, si bien debió tomar del ámbito político el vocabulario que utilizó, como hemos mostrado. Los físicos americanos de posguerra se consideraban gente práctica, de tendencia más pragmática que filosófica. Los escasos físicos teóricos que tomaron posiciones políticas claras no solían ser extremistas. Y los poquísimos que mezclaron la política con la Física —como por ejemplo David Bohm, con su reconocida adhesión al comunismo y al materialismo dialéctico marxista— fueron rápidamente marginados de la corriente principal y tildados de doctrinarios. Más que formular una filosofía política de la democracia a través de sus teorías físicas, o pretender ver aquélla reflejada en éstas, lo que hizo Chew en la década de los cincuenta, después de la polémica del juramento de lealtad, fue emprender una serie de acciones concretas para lograr un juego limpio y trato igualitario, y ese proyecto se vio reflejado en sus ideas

políticas, y posteriormente en las prácticas pedagógicas con sus estudiantes y en su trabajo en Física.

4.6. Reflexiones filosóficas sobre la S-matrix

4.6.1. El éxito de la teoría S-matrix

El auge de la teoría S-matrix a finales de los cincuenta y principios de los sesenta puede explicarse por tres factores principales: los problemas que presentaba la teoría cuántica de campos, la actitud pragmática de los teóricos y su atractivo filosófico.

Tras la guerra, los físicos dispusieron de aceleradores de partículas para bombardear el núcleo mucho más intensamente que antes, y los teóricos debieron habérselas con numerosos experimentos y explicar los datos resultantes de ellos. Además, en la posguerra los teóricos se guiaban en gran medida por los datos experimentales, y esto fue lo que caracterizó a la física de altas energías en aquel periodo. El apoyo económico por parte del gobierno era muy grande, había mucho dinero en financiación y becas, y la preparación de los teóricos se encaminaba en gran medida a atender y explicar los experimentos. A falta de una teoría bien elaborada en la que todos estuvieran de acuerdo, gran parte del trabajo teórico consistía en modelos fenomenológicos que se orientaban a la explicación y organización de los datos experimentales.

En consecuencia, los teóricos partían de un enfoque pragmático y se les enseñaba una visión instrumentalista de las teorías. El ambiente eminentemente práctico implicaba que una teoría debía funcionar y que no se podía perder tiempo intentando entender una que estuviera repleta de problemas. Ese fue el legado de la actitud que había resultado tan exitosa en Berkeley, Columbia, Harvard y otras importantes universidades americanas

durante los años treinta y cuarenta. Tanto apoyo por parte del estado supuso una gran presión y competitividad, y en ese contexto la capacidad para explicar los experimentos era crucial. En lo que concierne al tema que estamos tratando, un ambiente donde lo importante era el experimento, se hicieron visibles los problemas de la teoría cuántica de campos para explicar las interacciones fuertes. En cambio, la S-matrix evitaba los problemas.

Decía Goldhaber en una entrevista que en aquella época no sabían como hacer teoría cuántica de campos enfocada a las interacciones fuertes, así que dejaron de interesarse por ella, dado que no resultaba útil. El problema era que no sabían calcular con ella, así que pensaron en hacer otra cosa distinta. Y precisamente la matriz de dispersión estaba perfectamente diseñada para tratar con ese aspecto (Cfr. Gordon, 1997).

David Gross afirma que se abandonó la QFT porque con ella no se podía calcular y porque los físicos americanos son pragmáticos innatos. Esta teoría no demostró ser una herramienta útil para tomar contacto con la enorme explosión de descubrimientos experimentales (Cfr. Gross, 2004).

Aparte de este factor de pragmatismo que hemos mencionado, hay otro más estético y filosófico: la S-matrix evitaba las arbitrariedades que plagaban la QFT. Chew creía que una teoría correcta no debía contener parámetros arbitrarios. El proceso de renormalización de Schwinger, Tomonaga y Feynman —que ya hemos expuesto—, que dio lugar a la electrodinámica cuántica (QED) y había hecho viable a la QFT, parecía arbitrario y dudoso para muchos. Había muchos escépticos que pensaban que la renormalización era sólo un truco que evitaba las infinitudes en lugar de tratar con ellas.

Todo esto llevó a una disminución en el interés por la QFT —y su epígono, la QED— a finales de los años 50. Donde no fallaba de forma absoluta (problemas para explicar las interacciones fuertes), parecía repleta de trucos matemáticos (poco estética y llena de

arbitrariedades). Esto llevó a una falta de fe en que este tipo de teorías ofreciera soluciones a las cuestiones que necesitaban resolverse, y los partidarios de la S-matrix aprovecharon la situación. Con los teóricos tan preocupados por la experimentación y por dar respuestas, los fallos de la QFT condujeron a la búsqueda de cualquier otra teoría que pudiera aportar una descripción de los hechos. Y la S-matrix ofrecía tal descripción.

Este ambiente pragmatista desfavoreció por completo a la QFT. En cambio, la S-matrix no se inmiscuía en qué podía ocurrir en la interacción de partículas misma, sino que tenía en cuenta qué entraba y qué salía, sin importar en absoluto el interior de la "caja negra". Permitía calcular porque evitaba el problema. Pero era algo de lo que eran conscientes la mayoría de teóricos, que evitaba el problema y no lo solucionaba; tal vez por eso la consideraba, no una teoría opuesta a la QFT, sino complementaria, en la medida en que servía para calcular, pero siempre sin abandonar el marco conceptual de la QFT. Sin embargo, Chew quería llevar la S-matrix más allá, afirmando la independencia de su programa bootstrap y de la democracia nuclear.

Hay dos aspectos adicionales en esta disputa entre la teoría cuántica de campos y la S-matrix que debemos comentar: los prácticos y los que podemos llamar "políticos": la cuestión de hasta qué punto era real la diferencia entre las dos teorías y el asunto de la diferencia "política" percibida por los seguidores de estas dos teorías. La mayoría de los teóricos formados en QFT utilizaban la S-matrix, pero operaban en el marco de la QFT y no aceptaban la incompatibilidad entre las dos teorías. Para muchos, la separación existía sólo en la medida en que Chew la establecía: la S-matrix estaba separada de la QFT sólo porque Chew lo había dispuesto. Para estos teóricos, las denuncias de Chew en las que afirmaba que la QFT estaba en bancarrota y muerta habían trazado una línea entre las dos teorías que de otro modo no habría existido, lo cual entraba dentro del carácter

evangelizador de Chew. En las universidades de la costa este dominaba el sentimiento de que las dos teorías eran compatibles. Francis Low y otros sostenían que la S-matrix era sólo una rama metodológica de la teoría de campos, desarrollada como una herramienta para solucionar problemas, una opinión que en Berkeley era compartida por pocos teóricos. Por ejemplo, Mandelstam afirma que una de las principales razones para desarrollar la S-matrix era porque constituía un procedimiento para tratar con la teoría cuántica de campos, con el objetivo de lograr cálculos más potentes. En resumen, los teóricos utilizaban aspectos de la S-matrix en su trabajo diario, si bien pocos compartían el espíritu separatista de Chew, y a pesar de su entusiasmo, la mayoría practicaba una combinación de QFT y S-matrix.

Al mismo tiempo, estaba el problema de que la S-matrix describía las interacciones de partículas, pero no contestaba a la pregunta que se planteaba la QFT, es decir, el mecanismo real que tenía lugar durante la interacción de partículas. La S-matrix evitaba la descripción microscópica que la QFT intentaba llevar a cabo, y operaba con amplitudes describiendo la transición de un estado inicial a un estado final, dejando sin contestar lo que ocurre durante esa transición (Cfr. Cushing, 1990). Así, mientras que sólo los bootstrapers más acérrimos creían que la S-matrix podría ofrecer una descripción completa y autosuficiente, la mayoría de los teóricos pensaba que evitaba la cuestión que la teoría del campo cuántico intentaba contestar.

Pasando a otra cuestión filosófica, si se nos permite la generalización —siempre arriesgada—, los profundos problemas planteados por la teoría cuántica de campos no era un tema del gusto de la mentalidad americana, y menos en aquella época de posguerra, con tantos datos experimentales por explicar y tanto trabajo en el sector nuclear. Los científicos americanos solían burlarse de los problemas filosóficos planteados por los europeos y se limitaban a aplicar la teoría, calcular y obtener resultados experimentales. El mismo

Oppenheimer era un físico brillante, pero era más bien pragmático: no se inmiscuía en discusiones filosóficas sobre la cuántica y se limitaba a los aspectos más prácticos y a difundir la nueva física en Estados Unidos durante la década de los treinta, tras haber estudiado en Europa con los fundadores. Dicho en pocas palabras, a los americanos les era ajena la disputa por la interpretación de la cuántica, un asunto que les parecía excesivamente metafísico. Volviendo a nuestro protagonista, Chew hizo el doctorado con Enrico Fermi, quien, a pesar de no ser americano, siempre fue un pragmático que se reía de las discusiones sobre la interpretación de la cuántica, y a quien sólo importaban los resultados. En una entrevista, Chew también reconoció que en aquel momento nunca pensó en interpretaciones filosóficas ni en aplicar principios filosóficos (Cfr. Capra, 1985). Sólo asumía lo que funcionaba, sin preocuparse por el trasfondo; le importaban únicamente los resultados, calcular y ajustarse a los datos experimentales: descripción de un buen pragmático e instrumentalista, para quien lo importante es el experimento.

En consecuencia, las implicaciones filosóficas del bootstrap, fueron algo ajeno a la personalidad de Chew, al menos al principio, y sólo se manifestarían en su insistencia casi religiosa por abandonar la QFT. Por esta razón, durante sus años de apogeo, su trabajo y sus escritos se limitan a tratar con el ámbito experimental y son de carácter muy técnico, todo lo cual podemos apreciar si consultamos cualquiera de sus trabajos redactados antes de finales de los años sesenta. Más tarde aparecerían en sus escritos las implicaciones filosóficas, cuando el enfoque bootstrap ya no era tan útil para calcular, se iba cargando con un aparato matemático demasiado pesado y la comunidad científica le iba dando de lado progresivamente y aproximándose al programa del quark, que comenzó su apogeo entre mediados y finales de la década de los sesenta. A partir de entonces Chew escribe artículos más filosóficos, a falta de cálculos y resultados experimentales. Años después llegaría

Fritjof Capra y extraería del trabajo de Chew ciertas implicaciones filosóficas para apoyar sus propias tesis relativas a los paralelismos entre la física y la filosofía oriental: extrajo de la teoría S-matrix las conclusiones que le interesaban para apoyar sus propias teorías, si bien el mismo Chew pareció estar de acuerdo (Cfr. Capra, 1975, 1985, 1988).

4.6.2. El atractivo filosófico de la teoría S-matrix

Su atractivo iba más allá de la preconizada ausencia de parámetros arbitrarios y la habilidad para manejar la interacción fuerte sin infinitudes; no en vano, Chew era considerado uno de los líderes de la física de altas energías más carismáticos de su tiempo.

La S-matrix tenía un fuerte atractivo filosófico para algunos teóricos por un motivo: permitía librarse de la noción de partículas elementales. Esta afirmación de la no elementariedad de ninguna partícula bien pudo constituir un aspecto pragmático más, es decir, la simple aplicación de la navaja de Occam y la consiguiente disminución del número de entidades, no el resultado de una consideración filosófica profunda. Si existía una gran proliferación de partículas y ninguna parecía ser elemental, la conclusión más simple es que ninguna de ellas es elemental. Si en los experimentos comprobaron que de una nacía otra, y que de la segunda era también posible obtener la primera, amoldándose a los datos concluyeron que ninguna era elemental. Algunos empezaron a decir que los hadrones estaban todos compuestos por partículas más pequeñas y realmente fundamentales —lo que después constituiría la teoría de los quarks—, pero la hipótesis no llegó más lejos al principio. La S-matrix anulaba la cuestión afirmando que todos los hadrones están compuestos unos de otros, desempeñando papeles distintos diferentes en circunstancias diferentes. La idea tenía un gran atractivo estético, lo cual llevó a que muchos teóricos la defendieran. Por ejemplo, Martin Halpern, profesor de Física en Berkeley desde 1967,

afirmaba en una entrevista que "aceptaron eso porque era una idea muy bella" (Cfr. Gordon, 1998).

4.7. . Chew y la política

El hecho de que la democracia nuclear surgiera en el campus de Berkeley reviste gran interés. La cuestión que se nos plantea es qué efecto pudieron tener los factores sociales en la construcción y evolución de la teoría S-matrix.

La idea de que los factores sociales pueden afectar a la forma, e incluso al contenido, de las teorías físicas forma parte de las tesis del enfoque sociologista de la ciencia, y el ejemplo clásico es la obra de Forman "Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica, 1918-1927", hasta tal punto que se suele utilizar la expresión "tesis de Forman" para aludir a cualquier argumento externalista fuerte que sugiera que los factores sociales externos tienen un papel determinante en la construcción de las teorías científicas.

Cushing se plantea la posibilidad de aplicar un argumento del tipo de Forman al surgimiento de la teoría S-matrix en Berkeley en los años 60, y llega a la conclusión de que es difícil demostrar que existe una relación, pero que el entorno existente en Berkeley pudo tener un papel en su elaboración y aceptación (Cfr. Cushing, 1990). Sin embargo, la mayor actividad política de Berkeley fue en los años 1964-65 y posteriores, mientras que el apogeo de la teoría S-matrix tuvo lugar en el período 1961-64. Lo que parece más plausible es que la misma atmósfera previa de Berkeley —que iba a contribuir a la rebelión estudiantil— contribuyera también a la aceptación y atractivo del programa S-matrix de Chew. Además, existía el precedente del *loyalty oath*, en el que Chew estuvo implicado. En ese mismo sentido, es posible que las diferencias culturales entre el este y el oeste de Estados Unidos —reflejadas en sus universidades— ayudaran a que la S-matrix se

desarrollara en Berkeley y no en otro sitio. Chew asegura, en la entrevista con Gordon incluida en la tesis de este autor —cuando éste le pregunta por la posible relación entre las ideas políticas radicales de Berkeley en los 60 y el surgimiento de la S-matrix—, que nunca había pensado en ello, pero que es una posibilidad digna de considerar.

4.8. Reflexiones de Geoffrey Chew

Para finalizar este capítulo, el central del trabajo, ofrecemos unas reflexiones del propio Chew, expresadas en una entrevista realizada por Fritjof Capra (Capra, 1985).

En la entrevista, Capra comenta que le parece muy importante el paso de una metáfora arquitectónica de un edificio con cimientos firmes (la teoría cuántica de campos), a la metáfora de una red sin cimientos, una red de eventos interrelacionados (la teoría S-matrix) y un conjunto de conceptos adecuados para describir esos eventos. En su opinión, es un cambio fundamental porque es la primera vez que en la ciencia occidental no se busca con un suelo firme donde pisar y unos cimientos sólidos sobre los cuales construir el edificio. Chew contesta que es cierto, y que se debe a la larga tradición de atomismo y de búsqueda de los constituyentes fundamentales, en la ciencia occidental, por lo que el enfoque boostrap no ha sido reconocido por la mayoría de los científicos: no es aceptado precisamente por esta ausencia de una base firme. La idea clásica de ciencia está, en cierto sentido, en conflicto con el enfoque bootstrap, porque la ciencia quiere cuestiones que estén planteadas con claridad, y desea ofrecer soluciones que permitan describir lo que hay por debajo de los fenómenos, lo que los sustenta; en cambio, forma parte del bootstrap no considerar absoluto a ningún concepto.

La mayoría de los físicos acepta una noción absoluta de campos locales. Hacen esto porque es para ellos la única forma de combinar los principios cuánticos con el *continuum* de espacio-tiempo. Si se les introduce en una discusión filosófica, los más talentosos estarán de acuerdo en que, probablemente, los campos no son la verdad absoluta, pero seguramente dirían que es algo que hasta ahora no se ha demostrado. Estos científicos no entienden que Chew tenga un punto de partida distinto al de los campos locales. Él hace esto porque los considera una arbitrariedad. Nadie ha encontrado una forma de utilizar los campos cuánticos locales sin introducir una arbitrariedad desagradable a los ojos de nuestro protagonista.

6. El programa de la democracia nuclear en decadencia

Como suele suceder en muchos ámbitos de la cultura y la ciencia, las novedades llaman la atención y captan el interés general. La primera evolución de muchas teorías, al haber partido del punto cero, es más bien sencilla. Sin embargo, con el paso del tiempo, las novedades dejan de serlo, y las teorías, al enfrentarse con los problemas que van surgiendo, se complican progresivamente. La consecuencia es que la teoría, si no logra llegar a ser la generalmente aceptada —la considerada estándar—, va perdiendo adeptos, queda relegada y se convierte en poco menos que una pieza de museo.

Algo parecido le sucedió a la teoría S-matrix. Tras unos años —comienzos de los sesenta— en que parecía salir victoriosa de su lucha contra la QFT —si bien la victoria absoluta sólo tuvo lugar en Berkeley, mientras que en otras universidades era considerada un método de cálculo, dentro de la teoría de campos—, comenzó a decaer, y a comienzos de los setenta sólo era practicada por sus defensores más acérrimos, Chew y sus más fieles seguidores.

La teoría S-matrix tuvo que aumentar su aparato matemático para poder aplicarse a distintos fenómenos de las interacciones fuertes. Al comienzo, ciertos componentes de la teoría fueron útiles en forma de predicciones que estaban acordes con los experimentos. Sin embargo, después sólo sirvieron para complicar la situación (Cfr. Gordon, 1998). Además, se podían hacer cálculos para algunas interacciones de producción de multi-partículas, pero nadie era capaz de elaborar un modelo general de producción de multi-partículas para cualquier número arbitrario de ellas. Este fracaso a la hora de generalizar ciertas características fue frustrante e hizo crecer las dudas sobre si la S-matrix era de verdad una

teoría fundamental. A esta decepción se unió el ataque de los defensores de las teorías de campos. Francis Low, quien había colaborado estrechamente con Chew a finales de los cincuenta, llegó a declarar que la S-matrix no era en realidad una teoría. David Gross comentaba: “Puedo recordar el momento exacto en que me sentí desilusionado por el programa bootstrap. Fue en 1966, en una reunión en Berkeley. Francis Low, después de su intervención, afirmó que el bootstrap no era una teoría, sino sólo una tautología”. Low añadió que el enfoque de la S-matrix para las interacciones fuertes había quedado obsoleto, lo mismo que Chew había dicho de las teorías de campo años atrás (Cfr. Gross, 2004).

Estos ataques se dirigían principalmente contra el bando más radical de la S-matrix (Chew, el bootstrap y la democracia nuclear), y no contra su utilización como herramienta. Lo que se fue haciendo cada vez más impopular fue el carácter evangélico, cuasi-religioso, del programa, la creencia en que la S-matrix constituía la solución a todos los problemas. Años atrás la S-matrix había sido la respuesta pragmática ante la falta de resultados procedentes de la QFT; ahora sus complicaciones internas le habían hecho perder todo su sentido práctico.

Los teóricos de la S-matrix se fueron quedando aislados del resto del mundo de la física de altas energías. Su creciente complejidad dio lugar a especialistas en ella que sabían poco del resto de la ciencia física. Se cuenta una anécdota sobre un estudiante graduado, especialista en teoría S-matrix, que estaba defendiendo en el CalTech su disertación. Cuando terminó, Richard Feynman, cansado de la estrechez de miras y del dogmatismo que mostraba el estudiante, le preguntó qué longitud de onda tiene la luz verde. El estudiante mostró sus dedos índice y pulgar separándolos un centímetro, y dijo: “¿Esto, más o menos?”. Feynman le suspendió y le recomendó que volviera a los comienzos de su

formación para aprender un poco más sobre Física (Entrevista de Stephen Gordon a Adler; en Gordon, 1998).

A finales de los sesenta, la teoría en auge era la de los quarks, impulsada principalmente por Murray Gell-Mann y George Zweig. Según ella, los hadrones estarían compuestos por unos constituyentes elementales que llamaron "quarks". Richard Feynman realizó una propuesta similar con su modelo del "partón". Por la misma época comenzó a surgir un gran interés por un tipo de teorías de campo conocidas como "teoría de campo indicador" ("gauge field"), que inclinó la balanza aún más hacia las teorías cuánticas de campo.

A medida que la S-matrix se iba complicando con el aparato matemático y las teorías de campos iban ganando terreno, Chew fue dejando de hablar de la idoneidad empírica, y cada vez explicaba y escribía más sobre las virtudes filosóficas y el futuro potencial de su programa.

> En este período de decadencia, excepto algunos de sus fieles, es difícil encontrar —incluso entre sus colaboradores— alguien que defendiera sus afirmaciones más radicales. La popularidad de la teoría S-matrix comenzó a declinar a mediados de los sesenta, en parte por las dificultades matemáticas halladas (…) y en parte porque la idea del quark ganaba popularidad en ese momento (Yu Cao, 1998: 229).

La teoría S-matrix se fue apagando poco a poco. Los seguidores de Chew que aún aceptaban su enfoque se convirtieron en un grupo aislado de especialistas que trabajaban apartados de la corriente principal de la física de partículas (Yu Cao, 1998: 261).

También Michael Redhead afirma que el entusiasmo inicial por el programa bootstrap había decaído a finales de los sesenta. Las razones que cita son:

1. Se reconocía que los bootstraps parciales nunca podían dar información exacta sobre los hadrones. Y si añadíamos más partículas y reacciones, todo se hacía excesivamente complicado. En cierto sentido, el bootstrap implicaba que no se podía intentar comprender nada aisladamente, sino que había que tener en cuenta todo. Y eso iba en contra del método científico desde los tiempos de Galileo. El enfoque bootstrap intentaba enfrentarse a la naturaleza en toda su complejidad, lo contrario de lo convencional para el método científico.
2. El modelo rival, el de los quarks, comenzó a tener éxito. Y con ello volvió la teoría cuántica de campos (Cfr. Redhead, 2005).

Redhead dice que, en realidad, el programa bootstrap no fue refutado, sino superado por los nuevos fundamentalistas. Eran unos nuevos aristócratas que derribaron la democracia igualitaria de la filosofía bootstrap con sus quarks y sus gluones. Sin embargo, por una curiosa ironía, el programa S-matrix sobrevivió en cierto sentido, en una forma mutada, como origen de la moderna teoría de cuerdas. Las teorías de cuerdas son diferentes aproximaciones de una única teoría, la teoría-M, que es descendiente directo de la S-matrix.

Cuando finalizaba la década de los sesenta, Chew siguió defendiendo su teoría, pero ya con menos fuerza y radicalidad que antes. Además, como hemos mencionado, acudía con más frecuencia a argumentos filosóficos, y menos a argumentos científicos. Por ejemplo, frente a los artículos casi exclusivamente técnicas de sus inicios, en un escrito de 1970, que tiene el revelador título de “Hadron bootstrap: triumph or frustration?”, dice:

> El bootstrapper busca entender la naturaleza, no en términos de constituyentes fundamentales, sino a partir de la autoconsistencia, en la creencia de que todo lo relacionado con la física procede únicamente del

> requerimiento de que los componentes sean consistentes entre ellos. Ningún componente debe ser arbitrario.

Ya muestra cierta tregua hacia los “fundamentalistas” del campo cuántico y ha relajado su dogmatismo:

> La pureza en la distinción entre el fundamentalista y el bootstrapper se hace borrosa por la inevitable inexactitud de la medición física y la finitud de la capacidad intelectual humana. En cualquier estado del desarrollo de la ciencia, los físicos tratan inevitablemente con una descripción incompleta y aproximada de la naturaleza. A medida que aumentan la precisión y el alcance de los experimentos, un componente de la naturaleza que antes parecía fundamental, puede cambiar.

Y hace memoria sobre los comienzos de su teoría:

> Es difícil decir en qué momento, a comienzos de los sesenta, la acumulación de evidencias fue lo bastante grande como para que la mayoría de los físicos de partículas pensaran que la S-matrix es una función analítica (…) Esto constituyó una ruptura de gran importancia y un brillante logro colectivo de la comunidad de la física de altas energías. (Cfr. Chew, 1970).

En relación con el mismo tema, dos años antes, en 1968, ya predominaba el lenguaje más filosófico y menos científico, y reconocía el carácter aproximado de cualquier teoría:

> Las teorías físicas siempre han sido aproximadas y parciales. Un descubrimiento clave de la cultura occidental ha sido el de que diferentes aspectos de la naturaleza pueden ser entendidos individualmente en un sentido aproximado sin entender todo a la vez. En última instancia todos los fenómenos están interconectados, por lo que el intento de entender sólo una parte necesariamente conduce al error, pero este error suele ser lo bastante pequeño para que ese enfoque parcial sea significativo (Cfr. Chew, 1968).

A comienzos de los setenta, nuevos datos contribuyeron al auge de las teorías de campos y al abandono de la S-matrix; por ejemplo, el descubrimiento de la partícula J/ψ. Con los nuevos avances, las teoría del campos tomaron en ese momento la forma de la cromodinámica cuántica (QCD), que no sólo era lo que la mayoría de los físicos estaban esperando en lo que a explicación de fenómenos se refiere, sino que también ofrecía un mejor procedimiento de cálculo que la S-matrix, con lo que ésta ni siquiera iba a poder sobrevivir como herramienta.

Polkinghorne, anteriormente un fuerte defensor de la teoría S-matrix, escribe en 1979, casi a modo de epitafio:

> A lo largo de los siglos ha habido dos tipos básicos de teorías de la materia. Una defendía una única sustancia universal de la cual todo está hecho. Otra partía de un pequeño número de elementos básicos, cuyas combinaciones dan lugar a la multiplicidad existente (…) La teoría S-matrix pertenece a un tercer tipo de teorías, el bootstrap, según la cual todo está hecho de todo lo demás (…) La idea se originó en los años

> sesenta en los Estados Unidos, y fue difundida por Geoffrey Chew bajo el hermoso eslogan de democracia nuclear (…) Era una gran idea. Desgraciadamente, no llegó a buen término. La gran síntesis era infinitamente más complicada e inaccesible. Finalmente, la naturaleza del mundo de lo microscópico se está enfrentando a las nociones igualitarias de la democracia nuclear. Parece haber objetos que tienen un papel primario. Es hora de volver a los quarks (Crf. Polkinghorne, 1979).

Los mismos principios estéticos que habían aupado a la teoría S-matrix (simplicidad, rechazo de las entidades arbitrarias, fidelidad a los hechos observables) fueron los que marcaron su caída a medida que se fue complicando con un aparato matemático que la convertía en excesivamente compleja (Cfr. Gordon, 1998).

Sin embargo, ha habido autores que han seguido reivindicando la validez del programa bootstrap. David M. Harrison, del departamento de física de la Universidad de Toronto, dice, en "Quarks, bootstraps and monads", que en Física hay dos corrientes principales en la búsqueda de los constituyentes últimos de la realidad. Una ve el mundo como algo hecho de átomos, y la otra ve el mundo como algo compuesto de relaciones. La mayoría de los textos de introducción a la Física presentan la visión atomista como si fuera un hecho y suelen explicar que el mundo está compuesto de partículas elementales: electrones, quarks y neutrinos. No se menciona en ningún momento que los quarks son inobservables; además, los libros de texto suelen ignorar la visión alternativa, el "bootstrap" o, más recientemente, la teoría de cuerdas. En 1963, Gell-Mann y Zweig propusieron que los protones, neutrones y mesones están compuestos de quarks; en consecuencia, los quarks serían elementales y las otras partículas no lo son. La siguiente cuestión que se plantearon

es de qué están hechos los quarks, y la respuesta de los partidarios de esta teoría fue que los quarks y los electrones son realmente elementales. Poco después, los experimentalistas comenzaron a buscar quarks. Buscaron por todas partes y no consiguieron encontrarlos; así que, finalmente, sus adeptos llegaron a la conclusión de que no podemos tener nunca quarks independientes, que siempre están confinados en los protones, neutrones y mesones: una hipótesis *ad hoc* que les permite soslayar el problema, pero que no lo resuelve, sino que inventa una propiedad que los convierte en indetectables. En cambio, en la visión bootstrap, las que los fundamentalistas consideran partículas elementales también contienen a las otras partículas. La idea central es que el universo es una red autoconsistente de interrelaciones. Ya sólo queda elegir entre las dos teorías: ¿quarks o bootstrap? (Cfr. Harrison, 2006).

Chew nunca abandonó su teoría y su trabajo, incluso hasta el punto de quedarse prácticamente solo y de que casi todos sus colegas calificaran su trabajo posterior de totalmente irrelevante. Sus desarrollos de los años setenta versaron sobre el modelo de Gabrielle Veneziano y el programa de bootstrap topológico. En la medida en que estos trabajos están relacionados con la moderna teoría de cuerdas, podemos decir que parte de las teorías de Chew han sobrevivido.

No obstante, aún influiría sobre otros autores y científicos (el caso de Fritjof Capra es especial y lo explicamos más adelante). Por ejemplo, Swetman, de la Universidad de Cambridge, en un artículo de 1973 hablaba de la gran importancia que daban muchos físicos de aquella época al quark como forma de explicar la estructura de la materia, y citaba enfoques alternativos que sugieren que la caza del quark se ha sobrestimado. Mencionaba el bootstrap entre ellos y consideraba profundas y excitantes las ideas de los defensores de esta teoría (Cfr. Swetman, 1973).

7. Los epígonos de Chew

7.1. Más allá de la ciencia

Tras años de olvido, las teorías de Chew fueron retomadas —junto con las de otros físicos como David Bohm— para apoyar ciertas tesis en muchos casos ajenas a la ciencia, y defendidas en su mayoría por personas próximas al movimiento New Age. Chew y Bohm, sintiéndose olvidados desde tiempo atrás, aunque no aceptaran las tesis de quienes ahora acudían a ellos en busca de apoyo teórico, sí se prestaron en muchos casos a poner su nombre al lado de estos gurúes que pretendían señalar los posibles paralelismos entre la ciencia y la filosofía oriental y dar un recubrimiento supuestamente científico a sus creencias.

El principal representante de esta tendencia a la que aludimos es Fritjof Capra, nacido en Viena en 1939 y doctor en Física Teórica por la universidad de esa ciudad. A finales de los sesenta acudió a California, en pleno auge del movimiento hippy, en el cual participó; allí entabló contacto con varios físicos de Berkeley, entre ellos Geoffrey Chew, con quien colaboró. Realizó varios trabajos en el ámbito estrictamente científico, y después dedicó varios años a la preparación de su primer libro, *El tao de la física*, que supuso un best-seller mundial y le permitió retirarse para dedicarse a escribir y a promover movimientos como la Deep Ecology.

Capra quiso poner de manifiesto las implicaciones filosóficas de las teorías de Chew. En un artículo publicado en 1978 —“Quark physics without quarks: A review of recent developments in S-matrix theory”—, cuando ya eran casi totalmente ignoradas por la comunidad científica, hizo un repaso de los desarrollos de la teoría S-matrix durante los

cinco años anteriores, arremetió contra la teoría de los quarks —en ese momento ya predominante— y repitió, desde una perspectiva más filosófica, algunos de los argumentos que Chew había defendido a comienzos de los sesenta:

> La creencia en que los quarks y los leptones son los constituyentes fundamentales de la materia es aceptada por la mayoría de los físicos de partículas y es muy conocida por la comunidad física y el público en general. Un punto de vista alternativo, defendido por una pequeña minoría de físicos, pero en aumento, defiende que los quarks no son entidades físicas primarias, sino solamente patrones generados por la dinámica de las interacciones fuertes. Este enfoque se defiende en el marco de la teoría S-matrix y del bootstrap, los cuales no aceptan ninguna entidad fundamental, sino que intentan comprender la naturaleza por completo a través de su autoconsistencia.

Capra comenta los últimos desarrollos de la teoría S-matrix de Chew frente a la teoría de los quarks, sin importarle que ya estuviera en franca decadencia:

> El nuevo enfoque culminó en el concepto de S-matrix ordenada, la cual ha hecho posible llegar a resultados característicos del modelo de los quarks sin necesidad de postular la existencia física de los quarks. Estos resultados han generado gran entusiasmo entre los teóricos de la S-matrix… quarks sin quarks.

Capra hace también un repaso a la historia de la física de partículas. La cita es larga, pero la reproducimos entera porque es bastante clara, no necesita comentarios y nos parece interesante para nuestro tema. Además, sirve para dar un repaso a la Física del siglo XX:

> La Física del siglo XX se ha caracterizado por una progresiva penetración en el mundo de las dimensiones microscópicas, hacia el interior del reino del átomo, el núcleo y sus constituyentes. Esta exploración del mundo subatómico ha sido motivada por una cuestión básica que ha ocupado y estimulado al pensamiento humano a lo largo de los siglos: ¿De qué está hecha la materia? (…) La escuela de pensamiento que ha tenido mayor influencia en la física moderna es el atomismo griego. Los atomistas griegos consideraban que la materia está hecha de bloques básicos, pasivos y sin vida (…) Según este enfoque, si no entendemos una estructura material o un fenómeno físico, debemos dividirlo en sus partes constituyentes e intentar entenderlo en términos de sus propiedades y comportamiento (…) Los átomos, los núcleos y los hadrones fueron, cada uno en un momento distinto, considerados partículas elementales. Sin embargo, ninguno de ellos cumplió tal expectativa. Después se descubría que esas partículas eran compuestas, y los físicos esperaban que la siguiente generación de elementos constituyentes revelara por fin el componente último de la materia. Por otro lado, las teorías de la física atómica y subatómica hacían cada vez más improbable la existencia de partículas elementales. Revelaron una interconexión básica de la materia (…) Todos estos desarrollos indicaron con fuerza que la imagen mecanicista de los ladrillos constructores de la

materia debía abandonarse, y sin embargo muchos físicos aún se muestran reacios a ello. La vieja tradición de explicar las estructuras complejas rompiéndolas en constituyentes más simples está tan firmemente asentada en el pensamiento occidental que aún continúa la búsqueda de estos componentes básicos (…)

Los candidatos más recientes en la búsqueda de los bloques básicos constituyentes son los llamados quarks. La hipótesis del quark fue introducida en 1963 por Gell-Mann y Zweig (…) La simplicidad y eficacia de este modelo es sorprendente, pero conduce a serias dificultades si los quarks se toman seriamente como constituyentes reales de los hadrones. Hasta ahora, ningún hadrón se ha dividido en sus quarks constituyentes, a pesar de haberlos bombardeado con las energías más fuertes (…) Si los quarks están unidos por potentes fuerzas de interacción, éstas deben implicar a otras partículas y los quarks deben, en consecuencia, mostrar algún tipo de estructura, igual que las otras partículas (…) En el bando experimental ha habido una fiera pero hasta el momento infructuosa búsqueda del quark durante la pasada década (…) La formulación matemática actual del modelo del quark se conoce como cromodinámica cuántica. Es una teoría del campo y ha sido nombrada así por analogía con la electrodinámica cuántica, la primera y aún más exitosa teoría moderna del campo (…) El principal problema del modelo del quark es explicar por qué no hay quarks libres. En el marco de la cromodinámica cuántica, a este fenómeno se le ha denominado confinamiento del quark, según la idea de que los quarks, por alguna

razón, están permanentemente confinados dentro de los hadrones y por tanto nunca podrán observarse (…) Sin embargo, a pesar de todas estas dificultades, la mayoría de los físicos aún creen en la idea de los bloques básicos constituyentes de la materia, una idea fuertemente asentada en nuestra tradición científica occidental (…) Los quarks pueden no ser entidades físicas primarias confinadas en el interior de los hadrones, sino simplemente patrones generados por la dinámica de las interacciones fuertes (…) no tiene sentido hablar de quarks libres (…) La teoría S-matrix es el marco que parece más adecuado para describir los hadrones y sus interacciones. Su concepto clave, la S-matrix, fue originalmente propuesto por Heisenberg en 1943, y ha sido desarrollado, durante las últimas dos décadas, en forma de estructura matemática compleja que parece ideal para describir las interacciones fuertes. Muchos físicos han contribuido a este desarrollo, pero la fuerza unificadora y líder filosófico ha sido Chew (…) Un aspecto importante de la teoría S-matrix es cambiar el énfasis de los objetos a los procesos. Su mayor preocupación no tiene que ver con las partículas, sino con sus reacciones. Tal cambio de los objetos a los procesos es requerido tanto por la mecánica cuántica como por la teoría de la relatividad. La mecánica cuántica ha dejado bien claro que una partícula subatómica sólo puede entenderse como manifestación de la interacción entre varios procesos de observación y medida (…) La teoría de la relatividad ha influido sobre este aspecto obligándonos a concebir las partículas en términos de espacio-tiempo, como patrones de

> cuatro dimensiones, y no como objetos. El enfoque S-matrix combina estas dos perspectivas. (Capra, 1978: 11-14).

De todas formas, es evidente que el trabajo de comentarista que hace Capra de la obra de Chew no es desinteresado, sino que el objetivo es apoyar sus propias tesis. En "Bootstrap and buddhism", publicado en 1973, dice Capra que los paralelismos entre la física moderna y la filosofía oriental no son superficiales, sino que proceden de un profundo acuerdo entre la visión oriental del mundo y los conceptos de la ciencia moderna, y utiliza claramente a Chew, citándole:

> El fundador y principal defensor del modelo bootstrap es Geoffrey Chew. De acuerdo con él, hay actualmente dos escuelas entre los físicos de altas energías, con visiones opuestas en lo relativo a los constituyentes de la materia. La mayoría son fundamentalistas e intentan reducir la naturaleza a sus partes fundamentales y buscan los ladrillos básicos de los que está compuesta la materia. Enfrente están los bootstrappers, que buscan entender la naturaleza a través de la autoconsistencia (…) Puesto que un componente fundamental es por definición uno que es asignado arbitrariamente, un modelo bootstrap no debe contener ningún componente fundamental. Llevada a su extremo, la idea del bootstrap nos lleva más allá de la ciencia. El mismo Chew reconoce que la idea del bootstrap, aunque fascinante y útil, no es científica (…) El problema es el siguiente: Puesto que todos los fenómenos están en última instancia interconectados, para explicar cualquiera de ellos tenemos que entender todos los demás, lo cual es imposible, obviamente (…) La tesis principal

> de este artículo es similar a la de *El tao de la física*: hay un profundo acuerdo entre la idea del bootstrap y la filosofía oriental. En cambio, el enfoque de los fundamentalistas ha surgido del pensamiento occidental tradicional, basado a su vez en la filosofía griega (Capra, 1973: 15-16).

En “Holonomía y bootstrap”, artículo incluido en el libro *El paradigma holográfico*, Capra dice que la base del programa de Chew consiste en la idea de que la naturaleza no puede reducirse a entidades fundamentales —como los elementos fundamentales de la materia—, sino que debe entenderse totalmente a través de la autoconsistencia. El universo se considera un tejido dinámico de acontecimientos interrelacionados, y ninguna de las propiedades de ninguna parte de este tejido es fundamental; todas ellas se deducen de las propiedades de las otras partes, y la consistencia general de sus interrelaciones mutuas determina la estructura de todo el tejido. La imagen de los hadrones originada por estos modelos de boostrap se suele resumir en la frase provocadora de que cada partícula consta de todas las demás partículas. Ciertamente, el bootstrap de hadrones representa una innovación radical en comparación con los enfoques fundamentalistas seguidos por la mayoría de los físicos, y uno de los principales desafíos del bootstrap de hadrones ha sido siempre la exigencia de explicar la estructura-quark de los hadrones sin tener que suponer que los quarks son los elementos fundamentales de que están hechas esas partículas.

Capra puede considerarse un epígono de Chew en la medida en que trabajó con él, y porque en cierto modo defiende sus teorías, si bien aplicándolas a un ámbito distinto y con un objetivo también distinto. Capra se doctoró en física teórica de partículas en la Universidad de Viena, en 1966, y fue después a París como estudiante postdoctoral. Allí fue testigo de los sucesos de mayo del 68 y conoció a Michael Neuenberg, profesor de

física de la Universidad de Santa Cruz, California, quien le ofreció una beca postdoctoral. Llegó allí en septiembre de 1968, y además de trabajar tomó contacto con el ambiente contracultural de la época. En diciembre de 1970 regresó a Europa, decidió convertirse en escritor y comenzó a redactar un libro de texto de física, aconsejado por Victor Weisskopf. Después de pasar apuros económicos, decidió redactar parte de su trabajo en forma de artículos en los que comparaba la física moderna con el pensamiento oriental y los envió al director de la sección teórica del Laboratorio Lawrence, de Berkeley, del que Chew era en ese momento el director. Al verlos no se sintió especialmente interesado, y se los entregó a Elizabeth Rauscher y George Weismann, dos físicos que vivían como hippies en sus ratos libres y que en 1975 fundarían el llamado "Fundamental Fysiks Group". Quedaron tan sorprendidos que inmediatamente dijeron a Chew que invitara a Capra a visitar el laboratorio como asistente no pagado, lo cual tuvo lugar en otoño de 1973. Allí dio algunas charlas al grupo de estudiantes y asistentes de Chew y visitó a Neuenberg, quien le animó para que no escribiera un libro de texto, sino uno que explorase los paralelismos entre la física y el pensamiento oriental. Tras su vuelta a Europa, se dispuso a rehacer su libro. Después de varios rechazos, una pequeña editorial londinense aceptó publicarlo. También logró que una editorial norteamericana, Shambala Press, lo publicara en Estados Unidos. El libro era *El tao de la física*, y apareció simultáneamente en 1975 en Gran Bretaña y Estados Unidos. En abril de 1975 regresó a Berkeley para quedarse más tiempo. Ya integrado en el grupo de Rauscher y Weismann, formó parte del Fundamental Fysiks Group y fue uno de sus ideólogos. Gracias al ambiente cultural reinante en ese momento, su libro se popularizó, fue un best-seller y se convirtió en uno de los estandartes del movimiento New Age más cercano a lo que podemos considerar verdadera ciencia. Se ha traducido a veintitrés idiomas distintos y ha vendido millones de copias en todo el mundo (Cfr. Kaiser, 2011). En

Berkeley entabló amistad con Chew, sobre la que podemos leer en *Sabiduría Insólita* (Capra, 1988) y "Bootstrap physics: A conversation with Geoffrey Chew" (Capra, 1984). Según nos cuenta el propio Capra —Chew no lo ha desmentido—, dio el beneplácito al hecho de asociar su nombre con los escritos de aquél. El testimonio más actual sobre la relación entre los dos y sobre la relación, en general, entre la física y el movimiento New Age, es el libro de David Kaiser, *How the Physics Saved Physics*, que expone cómo estos extraños físicos contribuyeron a dar impulso a su ciencia.

7.2. El tao de la física

Por último, ofrecemos un resumen de *El tao de la física*, el best seller de Fritjof Capra en el que intenta poner de manifiesto los paralelismos entre la física contemporánea y la filosofía oriental. Para él, la filosofía bootstrap constituye el mejor ejemplo de la afirmación de la interconexión de todas las entidades y procesos del mundo, igual que hacen las filosofías orientales, especialmente el budismo y el taoísmo. No es el objetivo del presente trabajo juzgar la obra de Capra, por lo que nos limitamos a decir que consideramos positiva su labor de difusión de la filosofía subyacente al enfoque bootstrap, pero que es dudoso que existan esos paralelismos entre la Física y el pensamiento oriental, a no ser en un sentido muy vago.

En el prólogo de la obra, Capra afirma que está comenzando a emerger de la física moderna una visión del mundo que está en armonía con la antigua sabiduría oriental. Además, durante los últimos treinta años existe en Occidente un fuerte interés por el misticismo oriental. Capra considera ese interés parte de una tendencia más amplia que trata de contrarrestar un profundo desequilibrio en nuestra cultura, ya que ésta ha

favorecido valores y actitudes *yang* (fuertes, masculinos) y ha ignorado las contrapartidas *yin* (intuitivas, femeninas).

En el primer capítulo, “Física moderna, ¿un camino con corazón?”, el autor pasa revista a la historia del pensamiento desde los presocráticos y señala que los filósofos milesios y Heráclito, con su concepción del mundo como algo vivo, tienen mucha relación con el pensamiento oriental. Sin embargo, con Parménides y Pitágoras, y más tarde con Platón, la tendencia cambia hacia lo racional y el dualismo. Tras el Renacimiento y el dualismo cartesiano se construye la visión mecanicista del mundo, en la que éste se compone de multitud de objetos diferentes ensamblados en una enorme máquina. Newton elabora la mecánica clásica, por la que Dios rige el universo desde lo alto imponiendo las leyes de la naturaleza. Esta visión fue predominante hasta finales del siglo XIX, y según Capra nos ha apartado de la naturaleza y del ser humano, y es la culpable de muchos de los males de nuestro tiempo: desorden político, violencia institucional, contaminación del medio ambiente. Frente a todo esto, el concepto oriental del mundo es orgánico: todas las cosas y todos los sucesos están interrelacionados y son aspectos distintos de una misma realidad. Las causas que mueven los objetos están dentro de ellos mismos.

En el segundo capítulo, “Saber y ver”, Capra diferencia el conocimiento racional del intuitivo y afirma que Occidente ha dado prioridad al primero, que es analítico, frente al segundo, que es sintético. En cambio, la cultura oriental ha hecho lo contrario. El conocimiento racional opera mediante abstracción, que consiste en seleccionar los rasgos significativos de los entes y los fenómenos. Con la abstracción se construye un mapa intelectual de la realidad. Por otro lado, el mundo natural es variado y complejo, multidimensional, donde todas las cosas están relacionadas y nuestra abstracción no puede conocer esta realidad por completo. Sólo logra una representación aproximada, pero no lo

creemos o no queremos darnos cuenta porque nuestra representación de la realidad es más fácil de alcanzar que la misma realidad: tomamos los conceptos por la realidad, los confundimos con ella. Liberarnos de esta confusión es uno de los objetivos del misticismo oriental. La Física recurre a la experiencia; en ella los hechos están correlacionados con símbolos matemáticos (modelos o teorías) y busca la predictibilidad. También le hace falta intuición, la cual ofrecería a los científicos nuevas perspectivas.

En el tercer capítulo, "Más allá del lenguaje", Capra afirma que nuestro lenguaje común es inadecuado para describir la realidad atómica y subatómica porque sus fenómenos trascienden la lógica clásica. En palabras de Heisenberg, "nuestros conceptos comunes no pueden aplicarse a la estructura de los átomos". Los modelos de la sabiduría oriental son filosóficamente más aproximados a la física moderna que los de la filosofía occidental tradicional porque, cuando el físico o el místico quieren comunicar su conocimiento, cae en paradojas y contradicciones. ¿Cómo puede la luz estar compuesta a la vez de partículas y ondas? La física cuántica está llena de paradojas. El budismo y el taoísmo tienden a enfatizar las paradojas para probar los límites del lenguaje. Siempre que la naturaleza se analiza con el intelecto puede parecer absurda o paradójica. Lo que vemos u oímos en los experimentos no son los fenómenos, sino sus consecuencias: el mundo queda más allá de la percepción. Cuanto más penetramos en la naturaleza, más hay que abandonar las imágenes y conceptos del lenguaje ordinario.

En el capítulo cuarto, "La nueva física", Capra explica que los físicos sintieron que se tambaleaba su visión del mundo, igual que la experiencia mística de la realidad hace tambalear esa misma visión. Se necesitaban cambios profundos en conceptos como espacio, tiempo, materia, objeto, causa y efecto, etc, y emergió una nueva cosmovisión, todavía en proceso. La física clásica partía del espacio tridimensional de la geometría euclidiana. El

espacio era absoluto, inmutable, estaba en reposo. Toda la materia estaba hecha de partículas materiales, pequeñas, sólidas, indestructibles. Se aplicó la mecánica al movimiento planetario y surgieron ciertas irregularidades que eran resueltas con la hipótesis de Dios. Laplace perfeccionó el sistema, y después se extendió al movimiento de los fluidos, a las vibraciones de los cuerpos elásticos y a la teoría del calor. Sin embargo, había fenómenos que no eran tan fáciles de incluir en la mecánica clásica, los electromagnéticos y que implicaban un nuevo tipo de fuerza. Se pasó de "fuerza" a "campo de fuerza", y ya no se consideraba que dos cargas se atraen como dos masas, sino que una crea una perturbación que la otra siente. Eso es el campo, que podía estudiarse sin referencia a los cuerpos materiales (teoría electrodinámica de Maxwell y Faraday). A pesar de estos problemas, la mecánica mantuvo su posición y Maxwell intentó explicar los campos como estados de fuerza dentro del éter. Sin embargo, llegó Einstein y afirmó que no existe el éter y que los campos electromagnéticos pueden viajar por el vacío. Así, el modelo de Newton había dejado de ser la base de toda la física.

En la física moderna no hay espacio ni tiempo absolutos, no hay partículas elementales sólidas, la naturaleza no es estrictamente causal y no es posible una descripción objetiva de la realidad. Igual que en la filosofía oriental, para la física moderna el mundo es un conjunto de procesos interrelacionados, todo está conectado, y es imposible explicar un fenómeno sin tener en cuenta sus conexiones. Y para Capra el máximo exponente de esta forma de ver la Física es Geoffrey Chew, con su teoría bootstrap, en la que todo está interrelacionado y lo más importante es la autoconsistencia del sistema.

8. Referencias bibliográficas

Badash, Lawrence, “Science and McCarthysm”, *Minerva* 38: 53-80 (2000).

Ball, James S., “How Geoff Got Started?”, in *A Passion for Physics*, World Scientific Publishing, 1985.

California Alumni Association, Recommendation of California Alumni Association to Board of Regents regarding implementation of anti-communist policy of University of California, April 20, 1950.

Capra, Fritjof, “Bootstrap and Budhism”, *American Journal of Physics* 42, 15 (1974).

Capra, Fritjof, “Bootstrap physics: A conversation with Geoffrey Chew”, en *A passion for physics*, World Scientific, 1985.

Capra, Fritjof, “Holonomía y bootstrap”, en *El paradigma holográfico*, Ken Wilber compilador, Editorial Kairos, 1987.

Capra, Fritjof, “Quark physics without quarks: A review of recent developments in S-matrix theory”, *American Journal of Physics*, January 1979, Volume 47, Issue 1, pp. 11-23.

Capra, Fritjof, *El Tao de la Física*, Luis Cárcamo, editor, Madrid, 1992. Edición original: *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism*, Shambhala Publications, Berkeley, California,1975.

Capra, Fritjof, *Sabiduría Insólita*, Editorial Kairos, 1991. Original en inglés: *Uncommon Wisdom*, 1988.

Chew, Denyse, “Coups de Foudre et Passions”, in *A passion for physics*, World Scientific Publishing, 1985.

Chew, Geoffrey, “Academic Freedom on Trial at the University of California”, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 6:2 (November 1950): 333–336.

Chew, Geoffrey, “Bootstrap: A scientific idea?”, *Science*, Volume 161, 1968, Issue 3843, pp. 762-765.

Chew, Geoffrey, “Elastic Scattering of High Energy Nucleons by Deuterons”. Tesis del Departmento de Física de la Universidad de Chicago, Illinois. Publicada en *Phys. Rev*. 74, 809–816 (1948).

Chew, Geoffrey, “Hadron bootstrap: triumph or frustration?”, *Physics Today* 23(10), 23–28, 1970.

Chew, Geoffrey, “Particles as S-matrix poles; hadron democracy”. Conference: Symposium on particle physics in the 1950's, Chicago, IL, USA, 1 May 1985, published in *Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950s*, ed. Laurie. Brown, Max Dresden, and Lillian Hoddeson.

Chew, Geoffrey, “S-matrix theory of strong interactions without elementary particles”, *Reviews of Modern Physics*, vol. 34, Issue 3, pp. 394-400, 1962.

Chew, Geoffrey, *Strong-interaction physics: a lecture note volume,* New York : W.A. Benjamin, 1964.

Collins, Harry, “Mathematical understanding and the physical sciences”, *Stud. Hist. Phil. Sci.* 38 (2007) 667-685.

Cushing, James, “Is scientific methodology interestingly atemporal?”, *Brit. J. Phil. Sci.* 41 (1990) 177-194.

Cushing, James, *Theory Construction and Selection in Modern Physics: The S Matrix*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom 1990.

Forman, Paul, “Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica : 1918-1927: adaptación de los físicos y matemáticos alemanes a un ambiente intelectual hostil”. Alianza Editorial, 1984. Edición original: “Weimar culture, causality, and quantum theory: adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile environment”, *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 3, pp 1-115. 1971.

Frautschi, Steven, “My experiences with the S-matrix program”, in *A passion for physics*, World Scientific Publishing, 1985,

Freundlich, Yehuda, “Theory Evaluation and the Bootstrap Hypothesis,” *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 1980, 11:267–277.

Gardner, David P., *The California Oath Controversy*, University of California Press, 1967.

Gell-Mann, Murray; Goldberger, Marvin, “Formal Theory of Scattering” *Phys. Rev*. 91, 398 (1953).

Goldberger, Martin, “A Passion for Physics”, in *A Passion for Physics*, World Scientific Publishing, 1985.

Gordon, Stephen, “Strong Interactions: Particles, Passion, and the Rise and Fall of Nuclear Democracy”, A.B. thesis, Harvard Univ., 1998.

Gross, David, Nobel Lecture 2004: “The Discovery of Asymptotic Freedom and the Emergence of QCD”.

Harrison, David M., “Quarks, bootstraps and monads”, *NeuroQuantology*, 2006, Volume: 4, Issue: 3, 252-262.

Heisenberg, Werner, “Der mathematische Rahmen der Quantentheorie der Wellenfelder”. *Zeitschrift für Naturforschung*, 1, 608-22.

Heisenberg, Werner, “Die beobachtbaren Grössen in der Theorie der Elementarteilchen”. *Zeitschrift für Physik*, 120, 513-38.

Herken, Gregg, *Brotherhood of the Bomb, The Tangled Lives and Loyalties of Robert Oppenheimer, Ernest Lawrence, and Edward Teller,* Henry Holt and Co. 2002.

Kaiser, David, “Nuclear Democracy”, *Isis*, 2002, 93:229-268.

Kaiser, David, “The atomic secret in red hands? American Suspicions of Theoretical Physicists During the Early Cold War”, *Representations* 90: 28-60.

Kaiser, David, *Drawing Theories Apart. The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*, University Of Chicago Press, 2005.

Kaiser, David, *How the Hippies saved Physics – Science, counterculture, and the quantum revival*, Norton & Company, 2011.

Kevles, Daniel, *The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern America*, Harvard University Press, 1987.

Max Planck Society, “Theoretical physicist”. Recurso electronico. En: http://www.max-planck.mpg.de/seite13/english.html.

Mendelsohn, E., “The Social Construction of Scientific Knowledge”. En *The Social Production of Scientific Knowledge*, compilado por Mendelsohn y otros. D. Reidel Publishing Company, 1977.

Muradian, Rudolf, “Predictions in Astrophysics and Cosmology”, *Pontifical Academy of Sciences*, Acta 19, 2008.

Olivé, León (compilador), *La Explicación Social del Conocimiento*, México, UNAM, 1985.

Peat, David, *Infinite Potential: The Life And Times Of David Bohm*, Perseus Books, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. November 1997.

Pickering, Andrew, *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*, University of Chicago Press/Edinburgh University Press, 1984.

Polkinghorne et al., *The analytic S-matrix*, Cambridge University Press, 1966.

Polkinghorne, John, “A salesman of ideas”, in *A Passion for Physics*, World Scientific Publishing, 1985.

Polkinghorne, John, *The particle play*, W. H. Freedman, 1979.

Quigg, Chris, “Elementary particles: Yesterday, today and tomorrow”, in *100 years of elementary particles*, Beam Line, 1997, vol. 27, nº 1.

Redhead, Michael, “Broken bootstraps – The rise and fall of a research programme”, in *Foundations of Physics*, vol. 35, april 2005.

Richard Polenberg, *In the Matter of J. Robert Oppenheimer: The Security Clearance Hearing*, Cornell University Press, 2002.

Sánchez Ron, Juan Manuel, *El poder de la ciencia*, Editorial Crítica, 2007.

Schrecker, Ellen, *No ivory tower. McCarthysm and the universities*, Oxford University Press, 1986.

Schwarz, John, “The early years of string theory: A personal perspective”, conferencia ofrecida el 20 de junio de 2007 en el Galileo Galilei Institute.

Segrè, Emilio, *A Mind Always in Motion: The Autobiography of Emilio Segrè*, University of California Press, 1993.

Shankar, R.: “Effective field theory in condensed matter physics”, in *Conceptual foundations of quantum field theory*, Cambridge University Press, 1999.

Silvan S. Schweber, *In the shadow of the bomb. Oppenheimer, Bethe, and the Moral Responsibility of the Scientist*, Princeton University Press, 2006.

Solís, Carlos, *Razones e intereses*: *La historia de la ciencia después de Kuhn*, Paidós Ibérica, 1994.

Sproul, Robert G., “Excerpts from the Loyalty Oath Memos”, February 13-April 24, 1951.

Stewart, George R., *The year of the oath*, Doubleday & Company, Inc., New York, 1950.

Swetman, T. P., “Bootstrap – an alternative philosophy”, *Phys. Educ*. 8 325, 1973.

Wang, Jessica. “Scientists and the problem of the public in Cold War America, 1945-1960”, *Osiris* 17, *Science and civil society*, ed. Lynn K. Nyhart and Thomas H. Broman, 323-347. Chicago: University of Chicago Press, 2002.

Wang, Jessica. *American science in an age of anxiety: Scientists, anticommunism, and the Cold War*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press, 1999.

Wheeler, J. A., “Molecular viewpoints in nuclear structure”. *Physical Review*, 52, 1937, 1083-106.

Wheeler, J. A., “On the mathematical description of light nuclei by the method of resonating group structure”. *Physical Review*, 52, 1937, 1107-22.

White, Alan R, “The past and future of S-matrix theory”, contribution to “Scattering”, edited by E. R. Pike and P. Sabatier, to be published by Academic Press.

Yu Cao, Tian, *Conceptual developments of 20th century field theories,* Cambridge University Press, 1998